ESTE PROYECTO CONTIENE LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS

DOCUMENTO Nº 1, MEMORIA

1.1 Memoria	pág. 4 a 127	124 páginas
1.2 Estudio Económico	pág. 128 a 130	3 páginas
1.3 Manual del Usuario	pág. 131 a 149	19 páginas
1.4 Código	pág. 150 a 158	9 páginas
1.5 Datasheets	pág. 159 a 185	27 páginas

DOCUMENTO Nº 2, PLANOS

2.1 Lista de planos	pág. 186 a 188	3 páginas
2.2 Planos	pág. 189 a 191	3 páginas

DOCUMENTO Nº 3, PRESUPUESTO

3.1 Mediciones	pág. 192 a 196	5 páginas
3.2 Precios Unitarios	pág. 197 a 198	2 páginas
3.3 Sumas Parciales	pág. 199 a 200	2 páginas
3.4 Presupuesto General	pág. 201 a 201	1 página

UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

CLIMATIZACIÓN MEDIANTE VENTANAS TERMOACTIVAS BASADAS EN CÉLULAS PELTIER

AUTOR: ALEJANDRO NECTALÍ FERNÁNDEZ

MADRID, Junio de 2010

Autorizada la entrega del proyecto del alumno

Alejandro Nectalí Fernández

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Ramón Rodríguez Pecharromán

Firmado:..... Fecha: ...../...../.....

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Álvaro Sánchez Miralles

Firmado:..... Fecha: ...../...../.....

UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

CLIMATIZACIÓN MEDIANTE VENTANAS TERMOACTIVAS BASADAS EN CÉLULAS PELTIER

AUTOR: ALEJANDRO NECTALÍ FERNÁNDEZ

MADRID, Junio de 2010

CLIMATIZACIÓN MEDIANTE VENTANAS TERMOACTIVAS BASADAS EN CÉLULAS PELTIER

Autor: Nectalí Fernández, Alejandro.

Director: Rodríguez Pecharromán, Ramón.

Entidad Colaboradora: ICAI-Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto "Climatización mediante ventanas termoactivas basadas en células Peltier" estudia el control de la temperatura de un flujo de aire enfriado por células Peltier. Este proyecto se enmarca en una línea de investigación de la Universidad en relación a la termoelectricidad.

La tecnología termoeléctrica basada en el principio del efecto Peltier permite el bombeo de calor de un foco frío a un foco caliente cuando circula una corriente eléctrica. El efecto Peltier ocurre cuando una corriente pasa a través de dos materiales semiconductores (tipo n y tipo p) que están conectados entre sí por puentes eléctricos. La corriente origina una transferencia de calor desde una unión hasta la otra, de tal forma que una unión se enfría mientras que la otra se calienta.

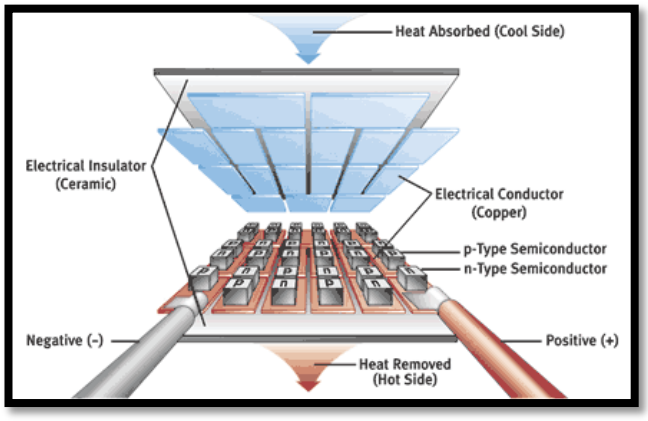


Figura 1. Célula Peltier.

El principal objetivo de este proyecto es el control de la temperatura del lado de la ventana correspondiente al interior de un habitáculo. El prototipo de la ventana consta de treinta módulos termoeléctricos que acondicionan el aire que atraviesa la ventana, el cual es impulsado por dos ventiladores instalados a ambos lados de la parte baja de la misma.

Se analiza el comportamiento del sistema con el objetivo de controlarlo de manera óptima, teniendo en cuenta el máximo aprovechamiento de las células Peltier, pero también las limitaciones del prototipo, como es la disipación del calor.

Figura 2. Prototipo de ventana termoactiva.

El proyecto tiene como primer objetivo concreto realizar la identificación del sistema. Para ello se desarrolló una aplicación utilizando el software *Labview*, que permite medir y llevar a cabo acciones de control a través del hardware de adquisición y generación de datos de *National Instruments*. En la identificación del sistema, se obtuvo un modelo del mismo aplicando un modelado por caja negra, realizado a partir de un ensayo en lazo cerrado. Este método estima los parámetros de una función de transferencia que pretende reproducir el comportamiento del sistema lo más fielmente posible. Esta estimación se lleva a cabo aplicando técnicas de mínimos cuadrados.

La función de transferencia obtenida para el modelo es:

$$P(s) = \frac{0.8584(1 - 4.46s)}{(1 + 3.472s)(1 + 53.79s)}$$

Finalmente, a partir de este modelo se diseñó un regulador PI para el control de la temperatura del lado frío de la ventana. La respuesta del control diseñado se muestra en la Figura 3. Se puede apreciar que el resultado es satisfactorio, puesto que la temperatura controlada sigue a la referencia con rapidez y precisión.

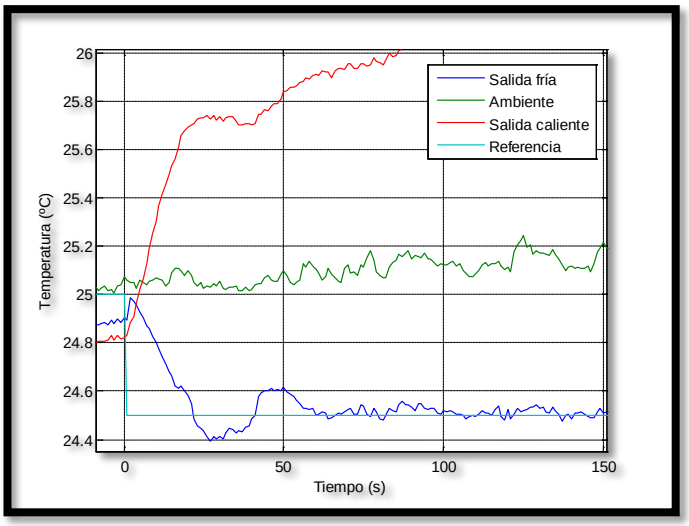


Figura 3. Respuesta del sistema a un ensayo con control PI implantado.

AIR-CONDITIONING THROUGH THERMOACTIVE WINDOWS BASED ON PELTIER CELLS

Author: Nectalí Fernández, Alejandro.

Manager: Rodríguez Pecharromán, Ramón.

Collaborating Entity: ICAI-Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

The "Air-conditioning through thermoactive windows based on Peltier cells" project studies the temperature control of an output airflow which is cooled by Peltier cells. This project belongs to a research line of the University, in connection with thermoelectricity. Thermoelectric technology based on the Peltier effect allows heat to be pumped from a cold area to a warm one when an electrical current flows. The Peltier effect is observed when a current flows through two semiconductor materials (type n and type p) that are connected by electrical conductors. Current creates a heat transfer from one junction to the other, so that one junction increases its temperature whereas the other junction becomes colder.

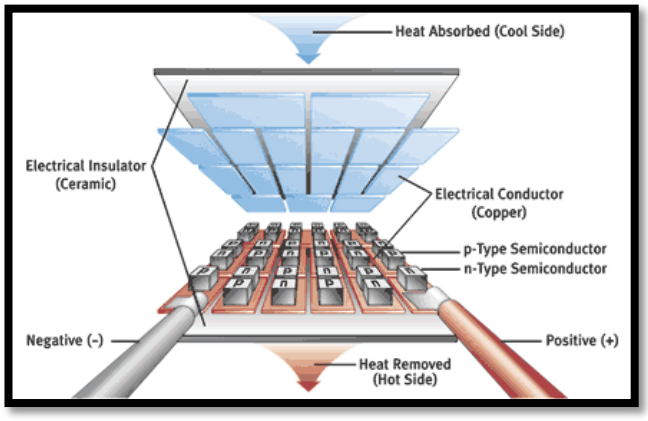


Figure 1. Peltier cell.

The main objective of this project is temperature control of the window's side that would be placed inside the room. The window's prototype is made up with 30 Peltier cells that will help to air-condition the room. Two fans help the air to flow through the exchangers that are installed on both sides of the cells.

The project studies system behavior with the purpose of optimizing control systems, maximizing Peltier cell use, but also taking into account the prototype's limitations, such as heat dissipation.

Figure 2. Thermoactive window prototype.

The first step of the project consisted in getting the prototype working using a power supply electronic board. The fans and the thermoelectric module need power supply.

The next step was system identification. A controller was implemented in *Labview* using *National Instruments* data acquisition hardware. A model of the system was obtained by system identification based on black box modeling. A closed-loop experiment was used to carry this aim out. The following transfer function has been determined using the least squares method. It is the best system model for designing the air temperature controller.

$$P(s) = \frac{0.8584(1 - 4.46s)}{(1 + 3.472s)(1 + 53.79s)}$$

Using this system model a PI control for the cold side of the window was designed. The controllers' response is shown in *Figure 3*. The result is successful and it can be seen that the controlled temperature follows the set-point accurately and quickly.

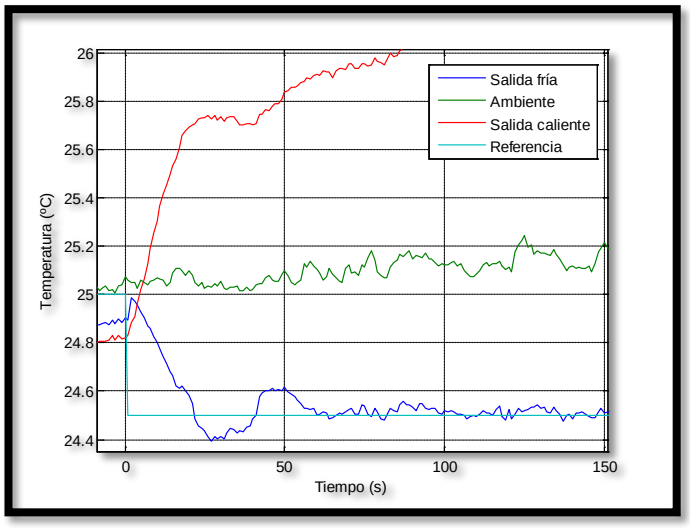


Figure 3. Closed-loop system response with PI controller.

AGRADECIMIENTOS

A Ramón Rodríguez Pecharromán, director del proyecto, por sus conocimientos, ayuda, seguimiento continuo, y constante disponibilidad, todos ellos puestos siempre a mi plena disposición cuando los he solicitado (y cuando no…).

A Antonio y José María, encargados del taller de la Escuela, por la tremenda paciencia y amabilidad que me han dedicado.

A todos mis compañeros de carrera por sus conocimientos y tiempo compartidos conmigo.

A mi familia, que siempre han estado ahí para aconsejarme, guiarme, apoyarme, quererme y tirarme de las orejas cuando me lo merecía.

Finalmente, a todos ellos que no nombro explícitamente y que, como los demás, han hecho posibles estos años. No se me olvidan, es solo que los nervios y las prisas son algo normal en las fechas a las que estamos para un estudiante.

A todos ellos, de todo corazón, gracias.

1

MEMORIA

Índice de la memoria

Parte I Memoria ***2***

Capítulo 1 Introducción ***3***

1.1 Estado del arte **4**

1.1.1 La termoelectricidad 4

1.1.2 Regulación automática 6

1.2 Motivación del proyecto **7**

1.3 Objetivos **11**

1.4 Metodología / Solución desarrollada **13**

1.5 Recursos **15**

Capítulo 2 La termoelectricidad ***17***

2.1 Introducción **18**

2.2 Principios fundamentales **19**

2.2.1 Efecto Seebeck 19

2.2.2 Efecto Peltier 21

2.2.3 Efecto Thomsom 22

2.2.4 Efecto Joule 24

2.2.5 Ley de Fourier 25

2.3 Módulos termoeléctricos **27**

2.3.1 Características constructivas 27

2.3.2 Curvas 32

Capítulo 3 Prototipo de ventana termoactiva ***35***

3.1 Características constructivas **36**

3.1.1 Descripción del prototipo 36

3.1.2 Modificaciones sobre el prototipo 2009 40

3.1.3 Conexión eléctrica 42

3.2 Instrumentación 44

3.2.1 Adquisición de datos 44

3.2.2 Generación de datos 50

3.3 Alimentación del prototipo 51

3.3.1 Etapa de potencia 52

3.3.1.1 Alimentación de los ventiladores 53

3.3.1.2 Alimentación de los módulos termoeléctricos 54

3.4 Puesta en marcha 58

Capítulo 4 Identificación de la planta 65

4.1 Modelado por principios físicos 66

4.2 Modelado por caja negra 73

4.2.1 Obtención de parámetros 74

4.2.2 Validación del modelo 84

4.3 Conclusión 88

Capítulo 5 Control del sistema 89

5.1 Diseño 89

5.2 Implantación 94

Capítulo 6 Resultados 99

6.1 Mejoras realizadas al prototipo 100

6.2 Identificación del sistema 101

6.3 Diseño e implantación del control 103

Capítulo 7 Conclusiones 104

Capítulo 8 Futuros desarrollos 106

Bibliografía 108

Parte II Estudio económico 109

Capítulo 1 Estudio económico 110

Parte III Manual de usuario 112

Capítulo 1 Labview 113

Capítulo 2 Estructura del control PID 114

2.1 Bloque PID 114

2.2 Acción diferencial 117

2.3 Acción integral 121

Capítulo 3 Ensayo en lazo abierto 126

Capítulo 4 Ensayo en lazo cerrado 128

Parte IV Código fuente 131

Capítulo 1 Ajuste.m 132

Capítulo 2 prepara_datos.m 137

Capítulo 3 Diseno_PI.m 139

Parte V Datasheets 140

Índice de figuras

Figura 2.2.1. Efecto Seebeck (www.ferrotec.com). 20

Figura 2.2.2. Efecto Peltier (www.ferrotec.com). 21

Figura 2.2.3. Esquema del funcionamiento del efecto Thomson. 23

Figura 2.2.4. Esquema de funcionamiento del efecto Fourier..... 26

Figura 2.3.1. Estructura interna común de un módulo termoeléctrico comercial. 28

Figura 2.3.2. Célula Peltier comercial. 30

Figura 2.3.3. Aspecto de una célula Peltier comercial abierta: semiconductores, soldaduras y conductores térmicos. 30

Figura 2.3.4. Módulos termoeléctricos multinivel (four stages). (www.tec-microsystems.com)..... 31

Figura 2.3.5. Curvas de comportamiento de los módulos termoeléctricos de Laird Technologies CP08 utilizados en este proyecto para una temperatura ambiente normalizada de 25ºC. (www.lairdtech.com). 33

Figura 3.1.1. Boceto del montaje de la ventana termoeléctrica. 37

Figura 3.1.2. Esquema básico del recorrido realizado por el aire al atravesar la cara fría de la ventana termoactiva. 39

Figura 3.1.3. Prototipo de ventana termoactiva construido en 2010. 41

Figura 3.1.4. Conexión eléctrica interna de los módulos termoeléctricos con sus nomenclaturas correspondientes..... 42

Figura 3.2.1. Termopar tipo K utilizado en el proyecto. 44

Figura 3.2.2. Chasis SCXI-1000 de gestión de señales de National Instruments. 46

Figura 3.2.3. Chasis SCXI-1000 de gestión de señales de National Instrument con 4 módulos acoplados. 47

Figura 3.2.4. Módulo de adquisición de datos SCXI-1102B de National Instruments. 47

Figura 3.2.5. Módulo de generación de datos SCXI-1124 de National Instruments. 50

Figura 3.3.1. Esquema general de la etapa de potencia utilizada. 52

Figura 3.3.2. Plano electrónico de la alimentación a los ventiladores. Fuente: [3]. 53

Figura 3.3.3.Esquema general de alimentación. 54

Figura 3.3.4. Esquema del filtro L utilizado. 57

Figura 3.4.1. Conexión de la placa electrónica y del filtro L. 58

Figura 3.4.2. Conexión general (Vista 1). 59

Figura 3.4.3. Conexión general (Vista 2) 59

Figura 3.4.4. Medida de temperaturas ambiente, salida de aire de la cara fría y salida de aire de la cara caliente de la ventana en el ensayo en lazo abierto. 62

Figura 3.4.5. Incrementos de la temperatura del aire a la salida de ambas caras de la ventana sobre la temperatura ambiente en el ensayo en lazo abierto. 63

Figura 3.4.6. Mando aplicado manualmente en el ensayo en lazo abierto. 63

Figura 4.1.1. Diagrama de bloques del modelo. 71

Figura 4.2.1. Diagrama de bloques que permite simular la respuesta de una función de transferencia ante una entrada discreta. 74

Figura 4.2.2. Gráfica de las temperaturas medidas en el sistema en un ensayo en lazo cerrado con control proporcional Kp=15 y con saturación de mando entre 0 y -3A. 75

Figura 4.2.3. Gráfica del mando aplicado al sistema en un ensayo en lazo cerrado con control proporcional Kp=15 y con saturación entre 0 y -3A.Se superpone en verde la gráfica de la diferencia de temperatura entre la cara fría de la ventana y el ambiente. 76

Figura 4.2.4. Ajustes para una estructura propuesta de función de transferencia de primer orden y de primer orden con cero. En rojo, la respuesta del ensayo, en azul la respuesta simulada y en verde el error cometido en el ajuste..... 77

Figura 4.2.5. Ajustes para una estructura propuesta de función de transferencia de segundo orden y de segundo orden con cero. En rojo, la respuesta del ensayo, en azul la respuesta simulada y en verde el error cometido en el ajuste..... 78

Figura 4.2.6. Ajustes para una estructura propuesta de función de transferencia de tercer orden y de tercer orden con cero. En rojo, la respuesta del ensayo, en azul la respuesta simulada y en verde el error cometido en el ajuste. 79

Figura 4.2.7. Comparativa de los diagramas de Black de las distintas funciones de transferencia propuestas. 81

Figura 4.2.8. Vista aumentada a la fase de -120º de la comparativa de los diagramas de Black de las distintas funciones de transferencia propuestas..... 81

Figura 4.2.9. Comparativa de las respuestas del sistema simulado y del ensayo real ante un escalón en la referencia de 25 a 23ºC con Kp=20. 84

Figura 4.2.10. Gráfica del mando aplicado al sistema en un ensayo en lazo cerrado con control proporcional Kp=20 y con saturación entre 0 y -3A.Escalón de 25 a 23ºC. Se superpone en azul la gráfica de la diferencia de temperatura entre la cara fría de la ventana y el ambiente..... 85

Figura 4.2.11. Comparativa de las respuestas del sistema simulado y del ensayo real ante un escalón en la referencia de 23 a 22.5ºC con Kp=15. 85

Figura 4.2.12. Gráfica del mando aplicado al sistema en un ensayo en lazo cerrado con control proporcional Kp=15 y con saturación entre 0 y -3A.Escalón de 23 a 22.5ºC. Se superpone en azul la gráfica de la diferencia de temperatura entre la cara fría de la ventana y el ambiente. 86

Figura 5.1.1. Comparativa de las respuestas temporales a escalón en la referencia del modelo con control PI con márgenes de fase de 50, 55 y 60º. 92

Figura 5.1.2. Comparativa de las respuestas en frecuencia (diagrama de Black) de lazo abierto para los tres controles PI diseñados. 93

Figura 5.2.1. Esquema de Simulink para simular respuestas del modelo a diferentes escalones en la referencia. Incluye sistema Anti-windup y saturación del mando. 95

Figura 5.2.2. Comparativa de respuestas temporales de salida y mando entre ensayo y simulación con control PI para un escalón en la referencia de 25º a 24.5ºC. Anti-windup activado. 96

Figura 5.2.3. Comparativa de respuestas temporales de salida y mando entre ensayo y simulación con control PI para un escalón en la referencia de 25º a 24.5ºC. Anti-windup desactivado sólo en simulación. 97

Figura 5.2.4. Comparativa de respuestas temporales de salida y mando entre ensayo y simulación con control PI para un escalón en la referencia de 26.5º a 24.5ºC. Anti-windup desactivado sólo en simulación. 98

Figura 5.2.5. Comparativa de respuestas temporales de salida y mando entre ensayo y simulación con control PI para un escalón en la referencia de 26.5º a 24.5ºC. Anti-windup activado. 98

Figura 6.2.1. Comparativa de la respuesta de un ensayo y una simulación con el modelo elegido para un escalón en la referencia de 24 a 23ºC. 101

Figura 6.3.1. Comparativa entre ensayo y simulación con el control PI implantado. 103

Figura 6.3.1. Bloque DAQmx Clear Task de Labview 7.1. 113

Figura 2.1.1. Bloque PID de Labview. Entradas y salidas. 114

Figura 2.1.2. Esquema interno del bloque PID. 117

Figura 2.2.1. Funcionamiento de acción diferencial con la entrada initialize inactiva y tiempo de muestreo estrictamente positivo. 118

Figura 2.2.2. Funcionamiento de la acción diferencial con entrada initialize activa. 118

Figura 2.2.3. Funcionamiento de la acción diferencial con entrada initialize inactiva y tiempo de muestreo igual o menor que 0. 119

Figura 2.3.1. Funcionamiento de la acción integral con valores no infinitos de K_i ($K_i = K_c/T_i$), sin cambios en los parámetros de ganancias PID o con initialize activa. 121

Figura 2.3.2. Funcionamiento de la acción integral con valores infinitos de Ki (Ti = 0). 122

Figura 2.3.3. *Funcionamiento de la acción integral con valores no infinitos de K_i ($K_i = K_c/T_i$) y algún cambio en las ganancias PID o initialize activa.* 123

Figura 2.3.1. Interfaz de usuario para la realización de ensayos en lazo abierto. 127

Figura 2.3.1. Interfaz de usuario para la realización de ensayos en lazo abierto. 130

Índice de tablas

Tabla 3.2.1. Conexión de los termopares instalados en el prototipo al sistema de adquisición de datos de National Instruments. 48

Tabla 3.3.1. Características de los módulos termoeléctricos CP08-63-06-W9 de Laird Technologies. 55

Tabla 3.3.2. Resumen de las características eléctricas principales del servoamplificador 25A8 de Advanced Motion Controls. 56

Tabla 3.4.1. Ensayo en lazo abierto 61

Tabla 5.1.1. Parámetros de los diferentes controles PI diseñados. 90

Tabla 5.1.2. Principales características de las respuestas temporales del modelo con los distintos controles PI diseñados. 91

Tabla 6.1.1. Comparativa de algunas limitaciones entre los prototipos de ventana termoactiva realizados en 2009 y 2010. 100

Parte I MEMORIA

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

El presente proyecto persigue la climatización de edificios mediante módulos termoeléctricos. Para ello se desarrollará un prototipo de ventana termoactiva en la que se insertarán varias células Peltier, tratándose de controlar la temperatura del aire de salida correspondiente al interior del habitáculo que se desea climatizar.

A continuación, se hará una introducción en la que se resumirán y analizarán las tecnologías existentes relacionadas con esta materia (ver sección 1.1 más adelante), se presentarán las razones que hacen interesante este proyecto y su desarrollo (sección 1.2), se concretarán en la sección 1.3 los objetivos fijados al comienzo del trabajo y, finalmente en la sección 1.4 se expondrá el proceso seguido para alcanzarlos y los recursos utilizados en la 1.5.

1.1 ESTADO DEL ARTE

1.1.1 LA TERMOELECTRICIDAD

Las aplicaciones industriales de los módulos termoeléctricos han sido escasas hasta el momento. Es ahora cuando están siendo empleados, principalmente para la refrigeración de microprocesadores y pequeños equipos frigoríficos entre otras aplicaciones.

En los últimos años la termoelectricidad ha avanzado enormemente, cada día hay mayor interés en esta rama de la física, los estudios son numerosos, especialmente en aplicaciones en las cuales un control preciso de la temperatura es necesario. El hecho de poder refrigerar o calentar una zona concreta y de reducido tamaño permite abrir una gran puerta a la termoelectricidad. Tanto es así, que es de esperar que a medio plazo, y teniendo en cuenta que la velocidad a la que avanza la tecnología de materiales, particularmente en el campo de los semiconductores, la posibilidad de climatizar viviendas mediante la termoelectricidad sea viable.

Las aplicaciones actuales y potenciales de la termoelectricidad son los materiales termoeléctricos se basan en dos aspectos del efecto Thomson (ver sección 2.2.3):

Por un lado, el establecimiento de un flujo de calor, opuesto a la difusión térmica, cuando un material sometido a un gradiente de temperatura es atravesado por una corriente eléctrica, permite pensar en aplicaciones de **refrigeración termoeléctrica** como alternativa la refrigeración clásica que utiliza ciclos de compresión-expansión (ver sección 1.2, donde se exponen

las ventajas del uso de esta tecnología frente a los sistemas clásicos de climatización).

Por otra parte, la posibilidad de convertir un flujo de calor en corriente eléctrica permite aplicaciones de **generación eléctrica** mediante efecto termoeléctrico, sobre todo a partir de fuentes de calor residual como los tubos de escape de los automóviles, las chimeneas de los incineradores, los circuitos de refrigeración de las centrales nucleares. El uso de esta tecnología supondría en estos casos una mejora en el rendimiento energético del sistema completo de manera «limpia». El calor residual es aprovechado para obtener un mayor aprovechamiento de la energía. Por ejemplo: el empleo de la termoelectricidad en los automóviles permitiría suplir parcialmente el trabajo del alternador, reduciendo así el consumo de combustible.

1.1.2 REGULACIÓN AUTOMÁTICA

Actualmente numerosas empresas comercializan módulos termoeléctricos que incorporan un conjunto completo de controladores de temperatura y procesos. Para regular la magnitud y la dirección de la corriente que alimenta al modulo, muchos controladores emplean la modulación PWM. Para eliminar la fluctuación de la temperatura debida, por ejemplo, a la variación de la temperatura ambiente, el controlador ha de ser capaz de aportar o de disipar calor para que no haya exceso o defecto de temperatura. Estos requisitos se pueden conseguir implementando un control de lazo cerrado tanto para calentar como para enfriar. Para minimizar la variación de temperatura, se ha de utilizar un control PID u otros algoritmos para mejorar la estabilidad del sistema.

Un sistema de control en lazo cerrado, es aquel en el que las acciones de control se toman en función de la salida. Estas acciones de control ponen en funcionamiento un actuador con el fin de ajustar la temperatura del sistema térmico a la temperatura requerida.

Los actuadores son aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre el sistema controlado. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da la salida necesaria para activar un elemento final de control. En este proyecto se emplean como actuadores módulos termoeléctricos.

Sea cual sea la tecnología de control, el error es la base a partir de la cual actúa un control. Cuanto más precisa sea la medida, mejor se podrá controlar la variable.

1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

En la realización de este proyecto, se puede hablar de tres grandes focos independientes de motivación: el uso de la termoelectricidad como alternativa a los sistemas de refrigeración y calefacción actuales, el uso de una ventana como sistema de acondicionamiento de temperatura, y la motivación para este proyecto concreto.

Este proyecto está inmerso en un nuevo enfoque del uso de la energía basada en la termoelectricidad. Esta técnica estudia la generación de la energía eléctrica a partir de calor residual, o el proceso inverso: producción de calor o frío mediante la circulación de una corriente por un material termoeléctrico.

El desarrollo de circuitos de refrigeración basados en elementos Peltier, como alternativa a los refrigerantes convencionales de origen orgánico (agua, amoniaco) y de origen inorgánico (CFC`s, HCFC`s) que resultan muy contaminantes, ha ido en aumento en los últimos años. Estos presentan grandes ventajas respecto a los otros sistemas de climatización, a continuación se indican algunas de ellas, las cuales hacen de sumo interés la investigación en este campo:

- No es necesario el uso de combustibles, la única fuente de alimentación necesaria es la red eléctrica.
- Produce frío o calor con un simple cambio de polaridad de la tensión (corriente) aplicada.
- Se tiene un control preciso de la temperatura.
- Puede funcionar en cualquier posición.

- No provoca un impacto medioambiental.
- Carece de partes móviles, lo que incrementa su fiabilidad y elimina los ruidos y vibraciones. Fundamental en aplicaciones en las que la temperatura debe ser regulada de forma muy precisa y fiable, como por ejemplo en los contenedores empleados en el transporte de órganos para trasplantes o en aquellas en las que las vibraciones son un inconveniente grave, como por ejemplo los sistemas de guía que emplean láser, o los circuitos integrados.

Es por todas estas características que la refrigeración termoeléctrica es aplicable en un campo muy amplio. Sin embargo, también tiene inconvenientes. Por ejemplo, su rendimiento es bajo, ya que depende de muchos factores, como pueden ser la correcta disipación del calor o encontrar la intensidad de corriente optima proporcionada a las células. Además no existe una linealidad entre la temperatura y la intensidad que atraviesa los módulos.

Son múltiples las aplicaciones de las células Peltier y los módulos termoeléctricos: sistemas de enfriamiento para neveras, armarios eléctricos industriales, cuadros electrónicos, equipos médicos, láser, telecomunicaciones, industria automovilística o ferrocarriles. Una de ellas es la que se desarrolla en este proyecto, que se centrará en la aplicación de las células para el enfriamiento o calentamiento del aire en un habitáculo, lo cual lleva a hablar de la motivación para la realización de este proyecto en ese campo concreto.

El proyecto que se va a desarrollar se enmarca dentro de una línea de trabajo de la Universidad en relación a la termoelectricidad, como es la patente del Paramento Transparente Activo (PTA), que se refiere a un sistema de bombeo de calor por efecto Peltier pensado para climatización en edificación. Las células Peltier se pueden usar en el control de temperatura de diferentes aplicaciones y dispositivos de pequeñas dimensiones.

El sistema que se pretende construir se instalará en las ventanas de un habitáculo en sustitución de los actuales vidrios, a los que reemplazará con una mínima reducción de transparencia, pudiendo bombear calor en cualquier dirección, para conseguir la temperatura deseada en el habitáculo. Este método de climatización presenta ciertas ventajas con respecto a las alternativas existentes en el mercado actual, como puede ser el volumen reducido de la instalación, dado que sustituye la posición de una o más ventanas convencionales, además, el módulo de control es también menor en tamaño o similar al de los sistemas existentes; se requieren elementos móviles como ventiladores, pero el ruido y las vibraciones de los mismos son inferiores a los producidos en un compresor; la instalación es sencilla y cómoda.

Cuando se habla de la motivación específica para este proyecto, es necesario destacar que este es el sexto proyecto de fin de carrera en el que se estudia el uso del efecto Peltier para climatización, siendo además la ampliación de otro proyecto previo que perseguía, al igual que este, la construcción y control de una ventana termoactiva para su utilización en climatización de edificaciones. El punto final del proyecto anterior concluía que, con el prototipo construido, no era posible alcanzar un

rendimiento mínimo al refrigerar un habitáculo debido a que, sobrepasado un umbral de corriente aportada al sistema, éste dejaba de refrigerar y comenzaba a calentar debido a problemas en la evacuación de calor en la cara caliente de la ventana.

El punto de partida y motivación para el desarrollo de este proyecto concreto es superar la limitación impuesta por el anterior, partiendo de una nueva idea para la mejora del sistema de evacuación de calor. Se espera que, tras la construcción de un nuevo prototipo con dicha mejora incluida y el diseño e implantación del control, se resuelva el problema de rendimiento y se pueda seguir adelante en el desarrollo de la ventana termoactiva.

1.3 OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es la construcción y diseño del control de un prototipo de ventana termoactiva.

La construcción del prototipo se llevará a cabo, como se ha dicho en el apartado de motivación, teniendo en cuenta las limitaciones de disipación y evacuación de calor que se presentaron en un proyecto previo.

Además, una vez alcanzado este objetivo principal, se espera realizar una última etapa de evaluación minuciosa de las prestaciones del sistema desarrollado.

De este objetivo principal se desprenden algunos más específicos, los cuales se detallan a continuación:

1. **Puesta en marcha del prototipo.**

Este punto abarca el arranque y puesta a punto de todo el equipo que se utilizará en el transcurso del proyecto, esto es, el correcto funcionamiento del conjunto formado por el PC, el módulo de potencia, el módulo de adquisición de datos y el prototipo de ventana termoactiva.

2. **Identificación del sistema.**

Obtención de un modelo matemático que se ajuste al prototipo y que permita el diseño de un control y la realización de simulaciones. Para ello se realizará un previo estudio de las variables y ecuaciones que rigen un

sistema térmico como es el prototipo a controlar. Este objetivo no es trivial puesto que no existe un estudio o publicación previa que guíe el modelado de un sistema de estas características, de forma que, en caso de llegar a resultados concluyentes, estos podrían publicarse.

3. **Diseño del control.**

El diseño del control para el prototipo se realizará mediante simulaciones en *Simulink* sobre el modelo obtenido.

4. **Implantación y mejora del control sobre el prototipo.**

Una vez obtenido un control con una respuesta aceptable en simulación, se procederá a la implantación de dicho control sobre el prototipo, para ello será necesario trasladar los parámetros obtenidos del mismo en *Simulink* al entorno *Labview.*

Además, se prevé la necesidad de realizar pequeñas variaciones y mejoras sobre el control diseñado una vez se realicen las pruebas sobre el prototipo.

1.4 METODOLOGÍA / SOLUCIÓN DESARROLLADA

En primer lugar se procederá a la construcción del prototipo de ventana termoactiva, partiendo de la experiencia de la construcción del prototipo del proyecto previo a éste y enmendando los defectos de diseño que éste tenía. Tras la construcción del prototipo se realizará la instrumentación del mismo, esto es, la situación de los sensores (termopares) necesarios para la medición de temperaturas en las partes necesarias, la conexión de éstos al módulo de entradas analógicas de *National Instruments*, la conexión de las células Peltier al módulo de potencia construido en proyectos anteriores y la conexión de éste al módulo de salidas analógicas acoplado al PC.

Una vez puesto en marcha el conjunto anterior, se procederá al registro mediante ensayos de los datos necesarios para una identificación de los parámetros que rigen el sistema. El siguiente paso consistirá en utilizar los datos de funcionamiento recogidos para cuantificar los parámetros del sistema matemático que se usará para el diseño del control en *Simulink*. Para la elaboración del modelo se utilizará la identificación por principios físicos, es decir, partiendo del estudio realizado de las ecuaciones del sistema y de los datos recogidos, se ajustarán los valores de los parámetros de dichas ecuaciones, obteniéndose así un modelo fiable del sistema para cualquier punto de funcionamiento. En caso de no llegar a la obtención de un ajuste aceptable mediante este método y, dado que la identificación del sistema por principios físicos no es el objetivo final de este proyecto, se procederá a una identificación por caja negra, por la cual no se llegará al conocimiento de los parámetros físicos que gobiernan el sistema, pero permitirá llegar a obtener una función de transferencia del mismo con la cual poder trabajar.

El diseño del control para el modelo se llevará a cabo en *Simulink* sobre el modelo obtenido. Se ha pensado en un control PI inicialmente aunque la propia entidad del sistema llevará a posibles variantes y/o mejoras del mismo.

Tras obtener un control con una respuesta aceptable para el modelo, se procederá a implantarlo en *Labview* para poder realizar ensayos sobre el prototipo. Este paso es delicado, ya que *Simulink* y *Labview* son entornos distintos tanto en la forma de trabajar interna como en el interfaz con el programador.

Por último se llevará a cabo una etapa cíclica de ensayos y rediseños consecutivos del control, variaciones y mejoras del mismo hasta alcanzar unos resultados aceptables sobre el prototipo.

En cuanto al seguimiento de las etapas del proyecto, se realizarán reuniones espaciadas alrededor de una semana con el director de proyecto, además, se realizarán reuniones extraordinarias tras la realización de los puntos más importantes o hitos del proyecto para discutir acerca de los mismos. Tras estas reuniones también se documentará minuciosamente el trabajo realizado hasta el momento.

1.5 RECURSOS

Hardware

- **PC**
- Módulo de adquisición de datos de *National Instuments* **SCXI-1000**
    - **SCXI-1600**: tarjeta inteligente del chasis
    - **SCXI-1102B**: entradas analógicas
    - **SCXI-1124**: salidas analógicas

Software

- ***National Instruments Labview* 7.1**: la comunicación entre el PC y el prototipo se realiza mediante software y hardware comercial de *National Instruments*, para la implantación del control, ensayos, y registro de datos se dispone de las siguientes aplicaciones para *Labview*:
    - ***Labview* Control Design Toolkit**
    - **PID Control Toolset**
    - **System Identification Toolset**
    - **Simulation interface Toolkit**
- ***MathWorks MATLAB* R2009b:** se utiliza *Matlab* como entorno de simulación y diseño de controles previos a la implantación real sobre el prototipo.
    - ***Simulink***

- Programa de identificación de sistemas mediante ajuste de parámetros por mínimos cuadrados elaborado por el Departamento de Electrónica y Automática (Juan Luis Zamora Macho).

Otros

- Prototipo de ventana termoactiva.
- Instrumentación del prototipo: termopares y módulo de potencia.

Capítulo 2 LA TERMOELECTRICIDAD

Este capítulo tiene como propósito introducir al lector en el mundo de la termoelectricidad y los efectos que en ella se dan. En la sección 2.2 Principios fundamentales se explican los fundamentos de los efectos termoeléctricos que se dan y de los que se hace uso en este proyecto. Finalmente, en la sección 2.3 Módulos termoeléctricos se explica el funcionamiento de los mismos así como sus principales características.

2.1 INTRODUCCIÓN

El impacto negativo sobre el ambiente de los combustibles fósiles exige la utilización de fuentes alternativas de energía. Una de esas fuentes es la producción de energía calorífica utilizando el fenómeno de la termoelectricidad, definiéndose ésta como la **rama de la termodinámica superpuesta a la electricidad donde se estudian los fenómenos en los que la electricidad y el calor intervienen.**

Se sabe desde el siglo XIX, tras los trabajos de Seebeck y Peltier, que la conexión de dos materiales diferentes que se encuentran a distinta temperatura puede generar una corriente eléctrica. Dicha fuente de energía está comenzando a ser explotada y desarrollada, el mayor inconveniente que impide la generalización del uso de la termoelectricidad es la eficiencia de los materiales.

2.2 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Para el correcto entendimiento del funcionamiento del proyecto es necesario conocer los fundamentos teóricos de los fenómenos termoeléctricos y físicos que ocurren en un termoelemento. En este apartado se trata de explicar los fenómenos que tienen lugar cuando se hace circular una corriente eléctrica a través de un termoelemento.

2.2.1 EFECTO SEEBECK

En 1821, el científico alemán Thomas Seebeck descubrió que se podía obtener electricidad a partir de una diferencia de temperatura. En un circuito formado por dos metales distintos unidos en sus extremos, al calentar una de las uniones se genera una tensión como consecuencia de la diferencia de temperatura entre los extremos. Esta tensión induce una corriente eléctrica, que fluirá por el circuito entre las uniones fría y caliente.

En el circuito de la Figura 2.2.1, formado por dos conductores distintos (material X y material Y), el termopar A está a una temperatura de referencia T_c y el termopar B está a una temperatura T_h, que en este caso será superior a T_c. Al aplicar calor en B, aparece una diferencia de potencial V_o entre los terminales T_1 y T_2. Esta tensión es proporcional al gradiente térmico impuesto.

$$V_o = a_{xy} \cdot (T_h - T_c)$$

donde a_{xy} es el coeficiente termoeléctrico de Seebeck entre dos materiales x e y, y viene dado en V/K.

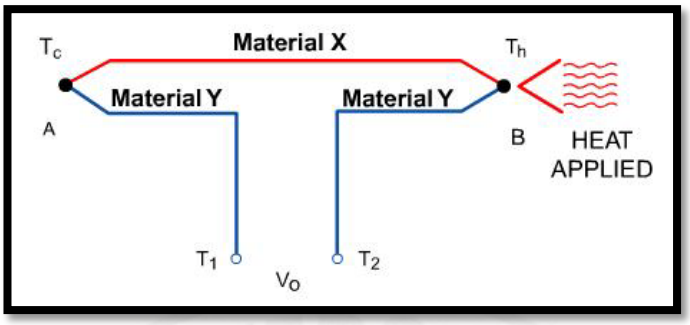


Figura 2.2.1. Efecto Seebeck (www.ferrotec.com).

2.2.2 EFECTO PELTIER

El efecto Peltier hace referencia a la creación de una diferencia de temperatura debida a un voltaje eléctrico. Sucede cuando una corriente se hace pasar a lo largo de un conductor no homogéneo, o cruza la unión entre dos metales o semiconductores distintos que están conectados entre sí en dos soldaduras (estas uniones reciben el nombre de junturas o uniones de Peltier). La corriente propicia una transferencia de calor de una juntura a la otra: una se enfría en tanto que otra se calienta.

Como se puede ver en la Figura 2.2.2, cuando una corriente I se hace pasar por el circuito, el calor se genera en una juntura (A) y es absorbido en la otra (B). A y B indican los materiales.

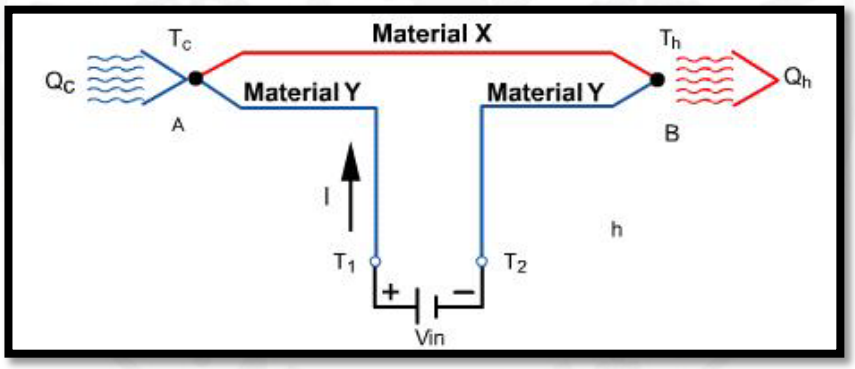


Figura 2.2.2. Efecto Peltier (www.ferrotec.com).

El efecto producido es un flujo de calor transversal al conductor no homogéneo (o a la unión), de valor:

$$q_p = -I \cdot T(\alpha_X - \alpha_Y)$$

2.2.3 EFECTO THOMSOM

Se conoce como efecto Thomson a una propiedad termoeléctrica descubierta por William Thomson -Lord Kelvin- en 1851 en la que se relacionan el efecto Seebeck y el efecto Peltier. Describe el calentamiento o enfriamiento (absorción o liberación de calor) de un conductor portador de corriente con un gradiente de temperatura.

Un conductor portador de corriente, con una diferencia de temperatura entre dos puntos, o bien absorberá o emitirá calor, según el material. Si una densidad de corriente J pasa por un conductor homogéneo, la producción de calor por unidad volumen es:

$$q = R \cdot J^2 - \sigma \cdot J \frac{dT}{dx}$$

Donde

- R es la resistencia del material.
- $\frac{dT}{dx}$ es el gradiente de temperatura a lo largo de la longitud del conductor.
- σ es el coeficiente Thomson.

Como se verá en el siguiente apartado (2.2.4), el primer término de la ecuación corresponde al efecto Joule. El segundo término es el calor de Thomson, que cambia de signo cuando J cambia de dirección. En la Figura 2.2.3 se puede observar un esquema ilustrativo del efecto Thomson.

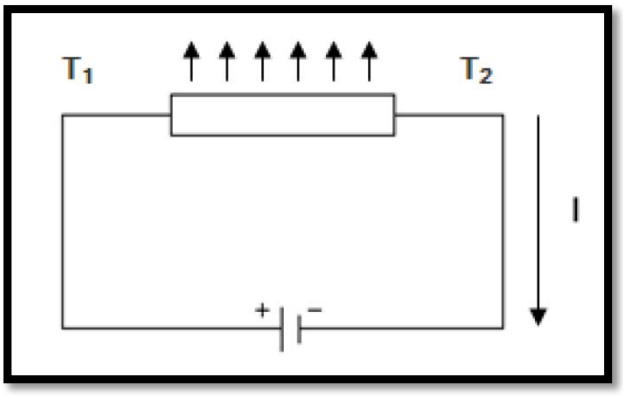


Figura 2.2.3. Esquema del funcionamiento del efecto Thomson.

La diferencia fundamental entre los efectos Seebeck y Peltier con respecto al efecto Thomson es que éste último existe para un solo material y no necesita la existencia de una soldadura. El coeficiente Thomson es el único entre los tres coeficientes principales termoeléctricos directamente medible para materiales individuales. Los coeficientes Peltier y Seebeck solo pueden hallarse por pares de materiales.

2.2.4 EFECTO JOULE

El nombre es en honor a su descubridor el físico británico James Prescott Joule. Se conoce como Efecto Joule al fenómeno por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo.

El calor generado en un material por efecto Joule obedece a la ecuación siguiente:

$$q_J = R \cdot I^2$$

Donde R es la resistencia eléctrica del material e I la corriente que lo atraviesa.

Éste es un efecto irreversible y separado del concepto de termoelectricidad. Puesto que los efectos Peltier y Seebeck implican un paso de corriente por un material, el efecto Joule estará presente como consecuencia y habrá que tenerlo en cuenta.

2.2.5 LEY DE FOURIER

La conducción de calor es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas.

La conducción térmica está determinada por la ley de Fourier, la cual establece que la tasa de transferencia de calor por conducción en una dirección dada, es proporcional al área normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente de temperatura en esa dirección:

$$\frac{dQ}{dt} = -k \cdot A \frac{dT}{dx}$$

Donde

- $\frac{dQ}{dt}$ es la tasa de flujo de calor que atraviesa el área A en la dirección x.
- k es un coeficiente propio del material llamado conductividad térmica.
- T es la temperatura.

En la Figura 2.2.4 se muestra un esquema explicativo del efecto de la conducción sobre un material sometido a un gradiente térmico ($T_2 - T_1$).

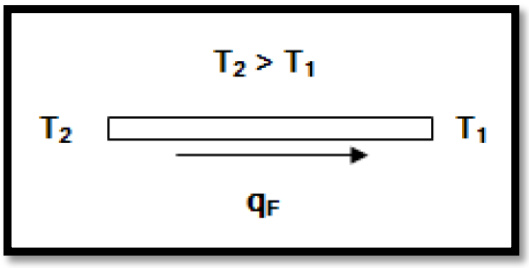


Figura 2.2.4. Esquema de funcionamiento del efecto Fourier

Éste es un efecto irreversible y separado del concepto de termoelectricidad. Debido a que los efectos Peltier y Seebeck implican un gradiente térmico entre dos materiales, el efecto Fourier estará presente como consecuencia y habrá que tenerlo en cuenta.

2.3 *MÓDULOS TERMOELÉCTRICOS*

2.3.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Existen en el mercado dos tipos de módulos o elementos, los módulos, células, o celdas de efecto Peltier (ver sección 2.2.2) que se utilizan para enfriar o calentar y los módulos de efecto Seebeck (sección 2.2.1) para generar corriente eléctrica. Las células Peltier son las más empleadas debido a que su coste es cada vez menor y sus aplicaciones para el mercado del consumo se incrementan día a día.

Un módulo termoeléctrico comercial consiste en la unión de varios pares de semiconductores tipo P[1] (huecos libres) y tipo N[2] (cargas libres) conectados térmicamente en paralelo y eléctricamente en serie para aumentar la tensión eléctrica de operación del mismo. Los semiconductores se conectan entre sí a través de conductores eléctricos como el cobre utilizando uniones soldadas con materiales con bajo punto de fusión para no dañar los termoelementos durante el proceso de soldadura. Estos puentes eléctricos tienen que estar aislados eléctricamente del objeto a refrigerar para evitar cortocircuitos. Sin embargo, este material aislante eléctrico debe de ser un buen conductor térmico para minimizar el salto térmico entre el par termoeléctrico y el objeto.

[1] **Semiconductor tipo P:** se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado, añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso positivos o *huecos*).

[2] **Semiconductor tipo N**: se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso negativas o electrones).

De la descripción anterior, puede entenderse la estructura habitual de los módulos termoeléctricos comerciales. Éstos disponen de varias partes comunes a todos ellos, las cuales pueden diferenciarse en la Figura 2.3.1:

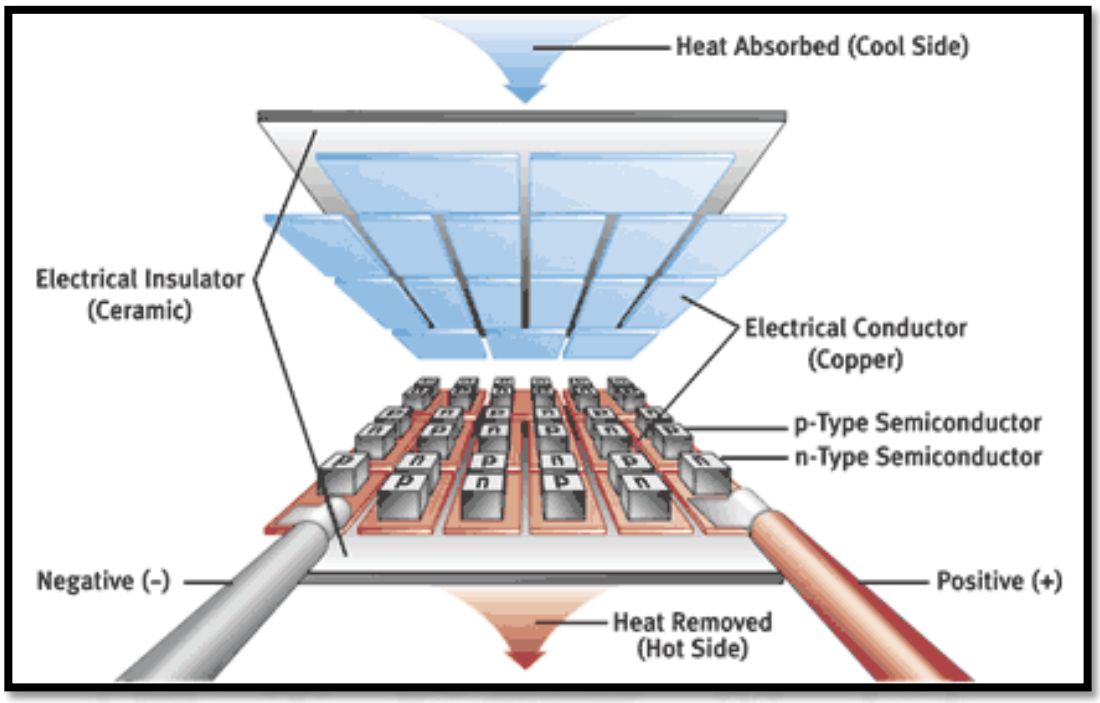


Figura 2.3.1. Estructura interna común de un módulo termoeléctrico comercial.

- Termoelementos: corresponde a los cubos grises de material semiconductor con la letra P o N según corresponda.

- Puentes eléctricos: las placas azules y rojas de la imagen corresponden a los puentes conductores (de cobre o algún otro material conductor eléctrico) que unen los semiconductores de ambos tipos. Como se puede apreciar en la Figura 2.3.1, las uniones N-P siempre se realizan en la cara superior y las uniones P-N en la inferior de la célula (ver efecto Peltier en sección 2.2.2), de forma que la generación o absorción de calor correspondiente a todos los

pares de semiconductores se concentra en la cara caliente o fría de ésta respectivamente.

Estas uniones, conectadas además a los cables eléctricos positivo y negativo, hacen que todos los termoelementos de la célula estén conectados en serie, como se ha mencionado antes, y el hecho de que todos ellos vuelquen o absorban el calor al mismo foco, implica que están térmicamente conectados en paralelo.

- Placas cerámicas: en la imagen, corresponden a las planchas superior e inferior de color blanco (*Electrical insulator*), éstas impiden las conexiones eléctricas entre semiconductores del mismo tipo, ya que son aislantes eléctricos, a la vez que facilitan el intercambio de calor entre el módulo y el exterior al ser buenos conductores térmicos.

Hay que tener en cuenta un aspecto fundamental de los módulos termoeléctricos: las uniones soldadas entre los diferentes componentes. Como ya se ha comentado, los termoelementos se sueldan a los puentes eléctricos mediante aleaciones con un punto de fusión relativamente bajo. Uno de los compuestos eutécticos más utilizados es una aleación de bismuto y estaño (58% Bi y 42% Sn con punto de fusión en 138 ºC). En el caso de que el módulo termoeléctrico vaya a trabajar en un rango de temperaturas superior a 80 ºC, se suelen emplear aleaciones con un punto de fusión más elevado, como son las aleaciones de estaño y plomo (63% Sn y 37% Pb, con punto de fusión en 183 ºC) según se cita en [7]. Por este motivo hay que tener en cuenta el rango de temperaturas a las que trabaje el módulo, y considerar que debería haber un diseño y modelo para cada aplicación para sacar el máximo rendimiento de los módulos.

En la Figura 2.3.2 puede apreciarse el aspecto de un módulo termoeléctrico comercial real, y en la Figura 2.3.3, el aspecto del mismo módulo abierto para ver las soldaduras y construcción interna.

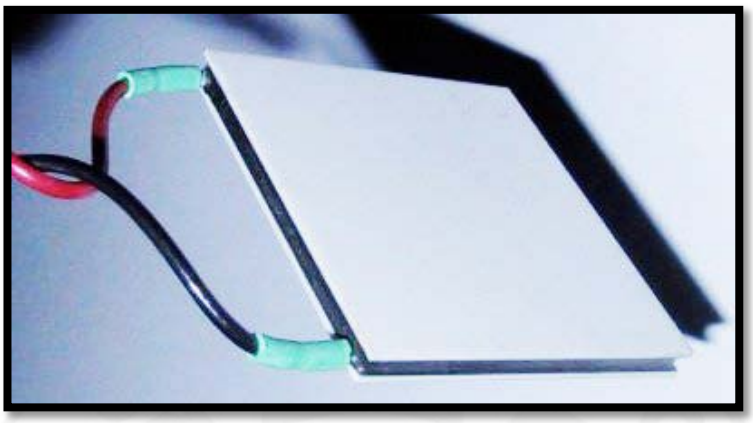


Figura 2.3.2. Célula Peltier comercial.

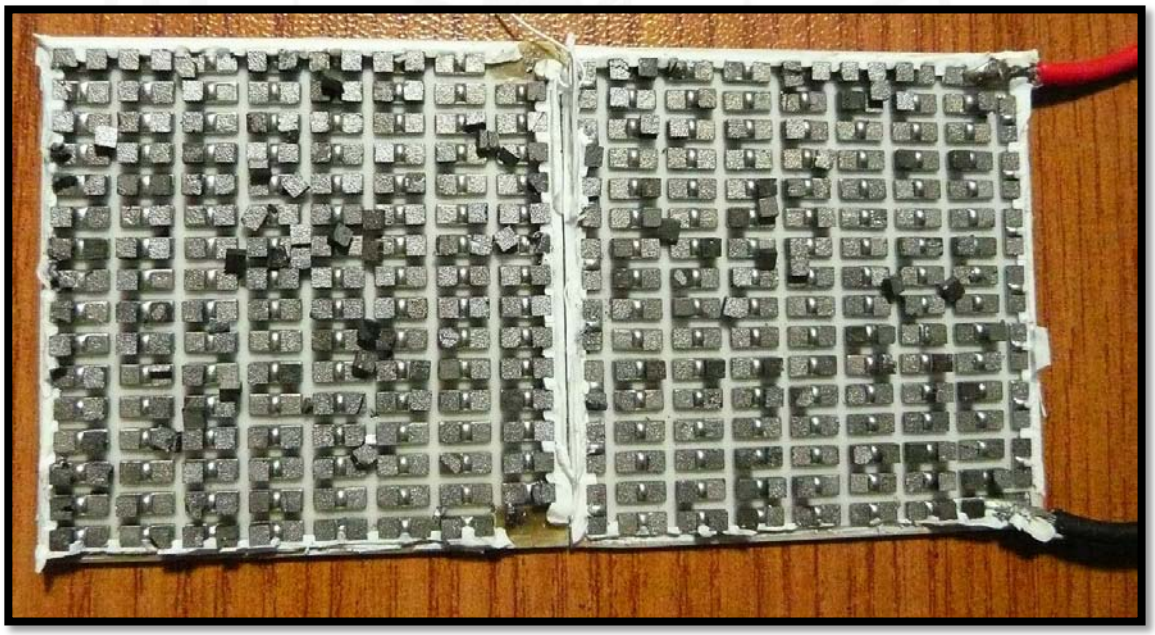


Figura 2.3.3. Aspecto de una célula Peltier comercial abierta: semiconductores, soldaduras y conductores térmicos.

También existen módulos multinivel (Figura 2.3.4) que permiten conseguir saltos térmicos importantes, pudiendo llegar incluso a diferencias de 130ºC. Las potencias a disipar, a medida que se aumentan los gradientes de temperatura son cada vez mayores, pero las ventajas de poder refrigerar puntualmente son muy importantes.

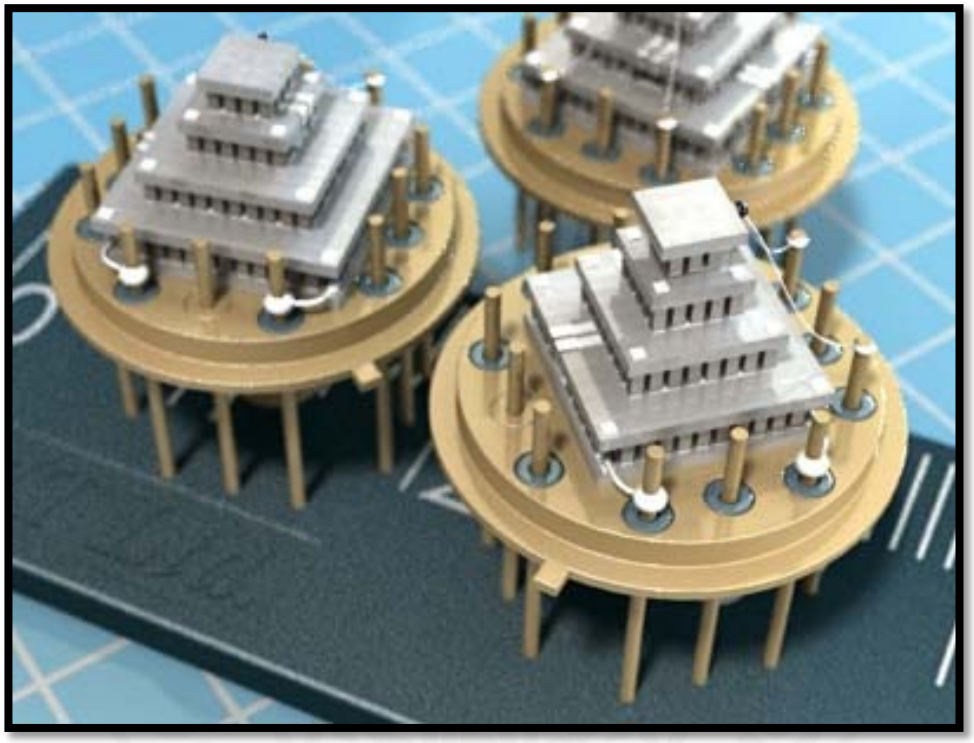


Figura 2.3.4. Módulos termoeléctricos multinivel (four stages). (www.tec-microsystems.com)

2.3.2 CURVAS

En un módulo termoeléctrico hay cuatro variables que definen el comportamiento del mismo, que son:

- **Salto térmico.** ΔT: diferencia entre la temperatura del lado caliente y del lado frío del módulo $\Delta T = T_c - T_f$.
- **Potencia.** Qc: potencia frigorífica bombeada por el dispositivo termoeléctrico.
- **Corriente.** I: La corriente que atraviesa el módulo termoeléctrico.
- **Tensión.** V: La tensión aplicada a la célula.

Estas variables se relacionan entre sí a través de las curvas características de cada modulo. El comportamiento de la célula se representa mediante estos diagramas, de forma que se puede saber cómo varía la diferencia de temperatura entre los lados frio y caliente en función de la intensidad que circula por ella o de la tensión aplicada.

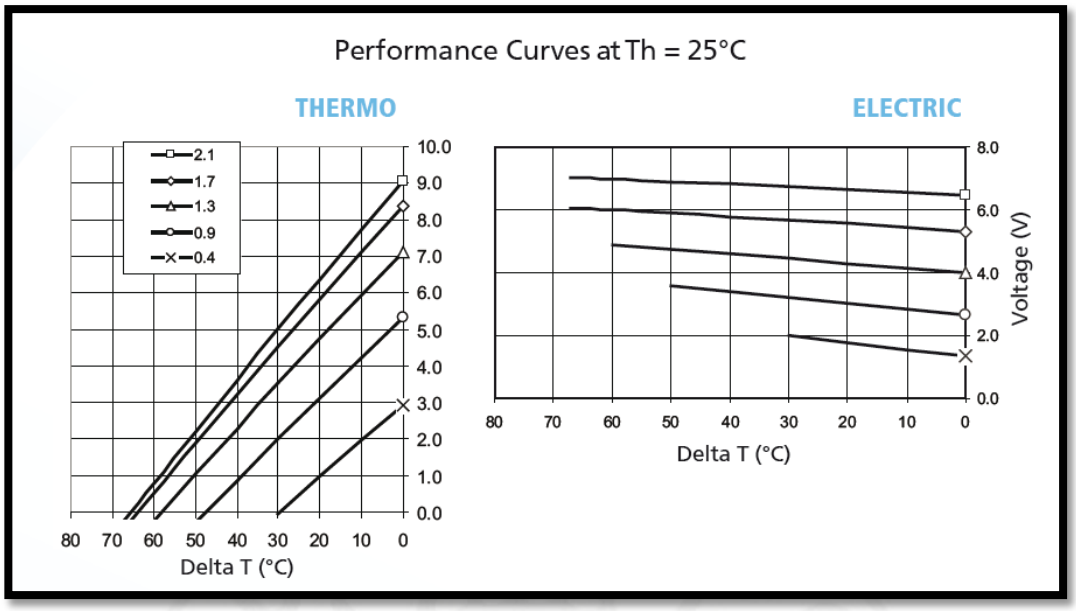


Figura 2.3.5. Curvas de comportamiento de los módulos termoeléctricos de Laird Technologies CP08 utilizados en este proyecto para una temperatura ambiente normalizada de 25ºC. (www.lairdtech.com).

En la Figura 2.3.5 se muestran las gráficas de comportamiento de las celdas Peltier utilizadas en este proyecto. En ellas se puede ver la relación entre la corriente aplicada (líneas marcadas con símbolos) a la célula, variación del salto térmico entre ambas caras de la célula (eje de abscisas de ambas gráficas), potencia frigorífica (ordenadas de la gráfica izquierda) y tensión (ordenadas de la gráfica derecha).

Puede observarse cómo para condiciones en las cuales no exista carga térmica en el lado frío (Q_c=0) se obtiene la máxima diferencia de temperatura. A medida que la diferencia de temperaturas entre las caras fría y caliente se reduce aumenta Q_c, llegando a su valor máximo cuando dicha diferencia de temperaturas es nula.

Las células Peltier presentan diversas singularidades, que dificultan su linealización. Puede comprobarse empíricamente cómo un aumento de la corriente por el módulo no es garantía de un aumento en la potencia

bombeada, siendo necesario tener en cuenta las temperaturas de la cara caliente y de la cara fría del módulo termoeléctrico para determinar la potencia bombeada, llegando a extremos en los cuales a pesar de presentar un gran flujo de corriente, el bombeo de potencia térmica es inexistente. Dicha peculiaridad deberá ser tenida en cuenta en la obtención del modelo del sistema térmico y el diseño del control, además de ser la principal limitación en este proyecto.

Capítulo 3 PROTOTIPO DE VENTANA TERMOACTIVA

Este capítulo está dedicado al estudio del prototipo construido para el proyecto. En primer lugar se explican en el apartado 3.1 *Características constructivas* los detalles del diseño del mismo y sus características.

En 3.2 *Instrumentación* se encuentra la instrumentación llevada a cabo sobre el prototipo así como una explicación del hardware de adquisición de *National Instruments* y las señales adquiridas y generadas por este hardware para poder realizar el control de la temperatura del flujo de aire que suministra el prototipo.

En el apartado 3.3 Alimentación del prototipo, se resume todo lo relacionado con la alimentación eléctrica al sistema.

Finalmente, en 3.4 Puesta en marcha, se detallará la puesta en funcionamiento del sistema.

Es importante destacar que en este proyecto, por el hecho de apoyarse en toda la línea de investigación de la escuela en el campo de la termoelectricidad y en proyectos previos similares, se pasarán por alto detalles de diseño de algunas partes del sistema, puesto que ya han sido previamente estudiados y documentados. En los casos en los que esto suceda, se hará clara referencia a las fuentes de documentación utilizadas.

3.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

La ventana termoactiva se ha instalado en un marco de plástico, en el cual se ha insertado, a modo de medio translúcido una plancha de PVC formada por dos capas semitransparentes entre las cuales se fijan los módulos termoeléctricos y los disipadores unidos a ellos que facilitan el intercambio de calor (muy necesarios, como se explicará más adelante, para conseguir disipar el calor generado en la cara caliente de las celdas). Esta plancha de doble permite además la circulación del aire entre sus dos capas, de manera que se pueda producir el intercambio de calor entre los módulos y éste a su paso.

El sistema consta de 30 módulos termoeléctricos o celdas Peltier, colocadas en 5 columnas, y que de ahora en adelante se denominarán mediante dos dígitos correspondientes a la columna y a la fila donde se encuentran colocados (de manera que la celda 3.2 se encuentra en la tercera columna de la ventana y en la segunda fila). Debido a la colocación de estos módulos entre las dos capas de la ventana, la transparencia de ésta se ve reducida en aproximadamente un 18%.

Se puede observar en la Figura 3.1.1 un boceto constructivo de la ventana, con la denominación elegida para los módulos termoeléctricos y con las dimensiones generales.

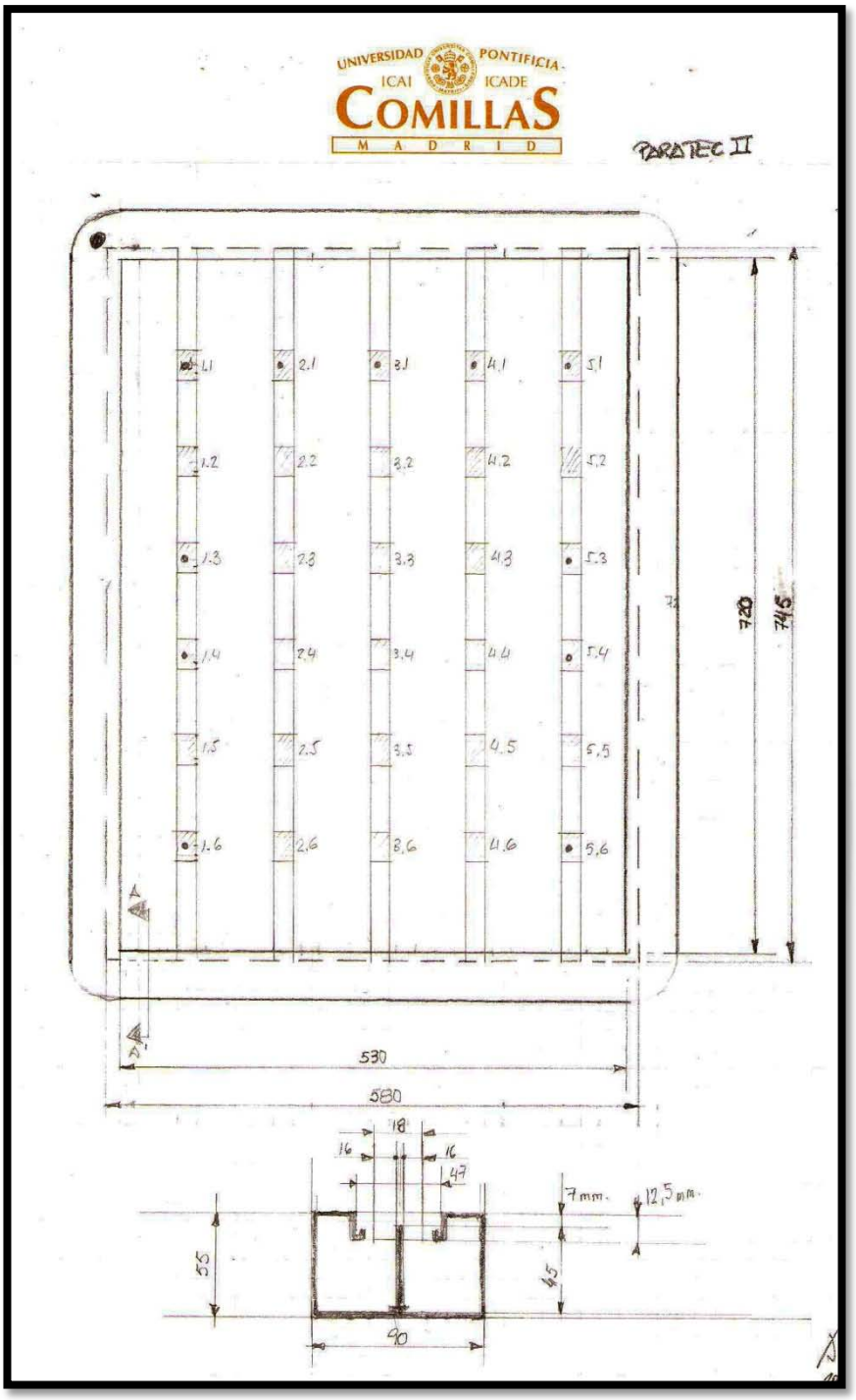


Figura 3.1.1. Boceto del montaje de la ventana termoeléctrica.

Además, para permitir la realización de las funciones de la ventana, se han practicado en la parte inferior del marco hueco unos orificios (uno en cada cara) del tamaño necesario para acoplar los ventiladores que introducirán el aire a acondicionar. En el marco superior de la ventana también se han practicado orificios que permitan salir el aire una vez acondicionado. Estos orificios están situados encima de cada columna de celdas y en cada cara, por lo que son 10 en total.

Para asegurar la eficiencia del prototipo, se han tapado todas las comunicaciones del interior de la ventana con el exterior, además de haberse impedido que el aire introducido en la cara caliente se mezcle en parte alguna con el aire de la cara fría. Adicionalmente, se han aislado todas las partes de la zona transparente de la ventana que no corresponden a una columna con módulos Peltier, de forma que el aire, tanto frío como caliente sólo es capaz de atravesar la ventana entrando a través de los ventiladores, ascendiendo por las columnas a este efecto y siendo expulsado por los orificios superiores sin haberse mezclado en ningún momento con el de la otra cara.

La construcción real del prototipo puede observarse en la Figura 3.1.2 y en la Figura 3.1.3, en las cuales se aprecian mejor las partes anteriormente mencionadas y el recorrido realizado por el aire a su paso por la ventana.

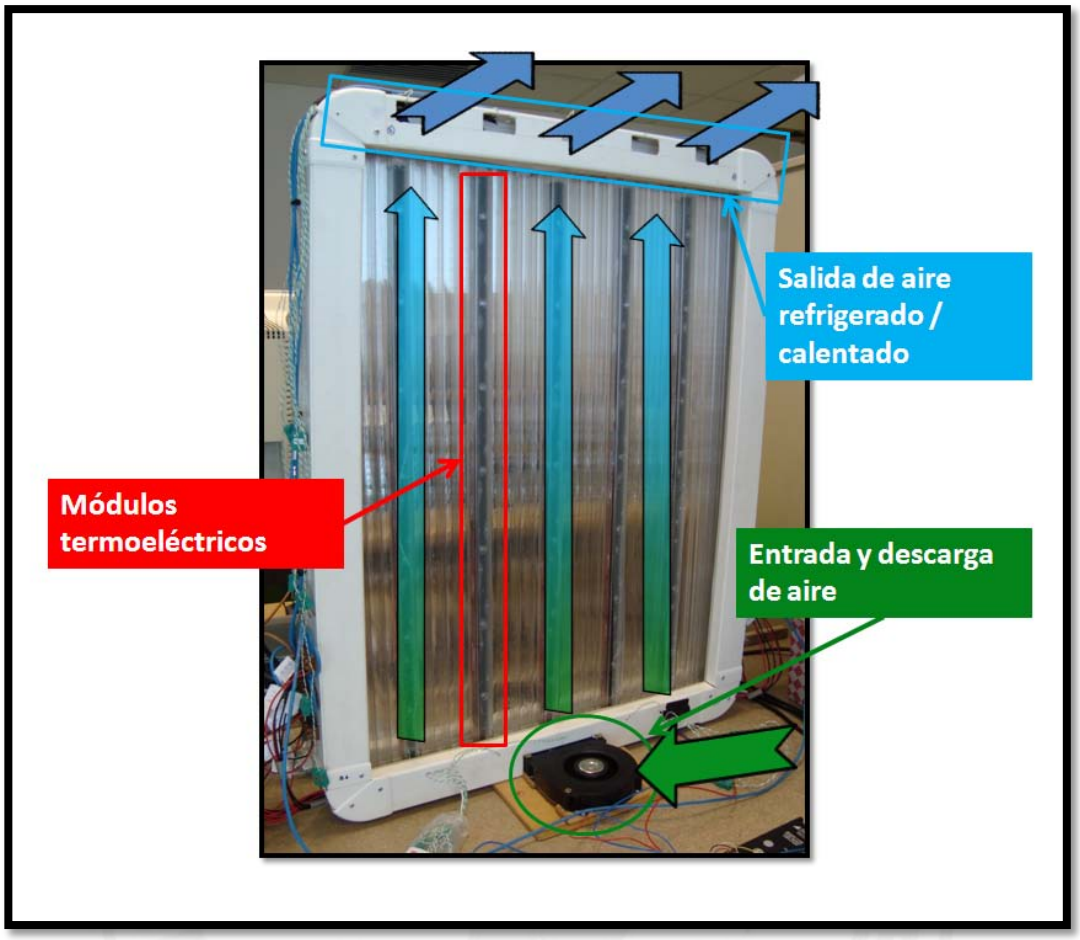


Figura 3.1.2. Esquema básico del recorrido realizado por el aire al atravesar la cara fría de la ventana termoactiva.

3.1.2 MODIFICACIONES SOBRE EL PROTOTIPO 2009

Para la construcción del nuevo prototipo de ventana termoactiva se ha partido de las conclusiones obtenidas en el proyecto previo enfocado en esta misma línea y de las limitaciones encontradas en la disipación de calor en el lado caliente de la ventana ([3], páginas de la 75 a la 78). Las modificaciones incluidas en el nuevo prototipo son principalmente las que se nombran a continuación:

- Se han instalado perfiles **disipadores** de aluminio en ambas caras de las células incluidas en la ventana, con intención de mejorar el intercambio de calor entre la cara caliente de las mismas y el torrente de aire que atraviesa la ventana.

- Se ha sustituido el modelo anterior de células termoeléctricas (*Melcor* CP1.0-63-05L) por el modelo CP08-63-06-W9 de *Laird Technologies*, el cual trabaja a una corriente nominal inferior y genera una potencia térmica inferior, puesto que en el proyecto anterior [3] se observó que era necesario trabajar muy por debajo de las especificaciones nominales de las células empleadas.

- Se han sustituido los ventiladores que bombean aire al interior de la ventana para calentarlo/refrigerarlo por otros más potentes, con la finalidad también de mejorar la disipación de calor en la cara caliente de la ventana.

- En general, se ha construido un prototipo más robusto, tratando especialmente de evitar escapes o entradas de aire donde no estuvieran previstos.

- Como se explicará más adelante, se han realizado pre-conexiones eléctricas de las células por parejas en paralelo, de forma que es posible conectarlas de múltiples maneras con la única limitación de que dichas parejas de celdas son inamovibles.

Figura 3.1.3. Prototipo de ventana termoactiva construido en 2010.

3.1.3 CONEXIÓN ELÉCTRICA

Por el hecho de haberse realizado una pre-conexión eléctrica por pares de módulos, es necesario distribuir la conexión total de la ventana bajo esa restricción. En la Figura 3.1.4 se muestra dicha conexión general.

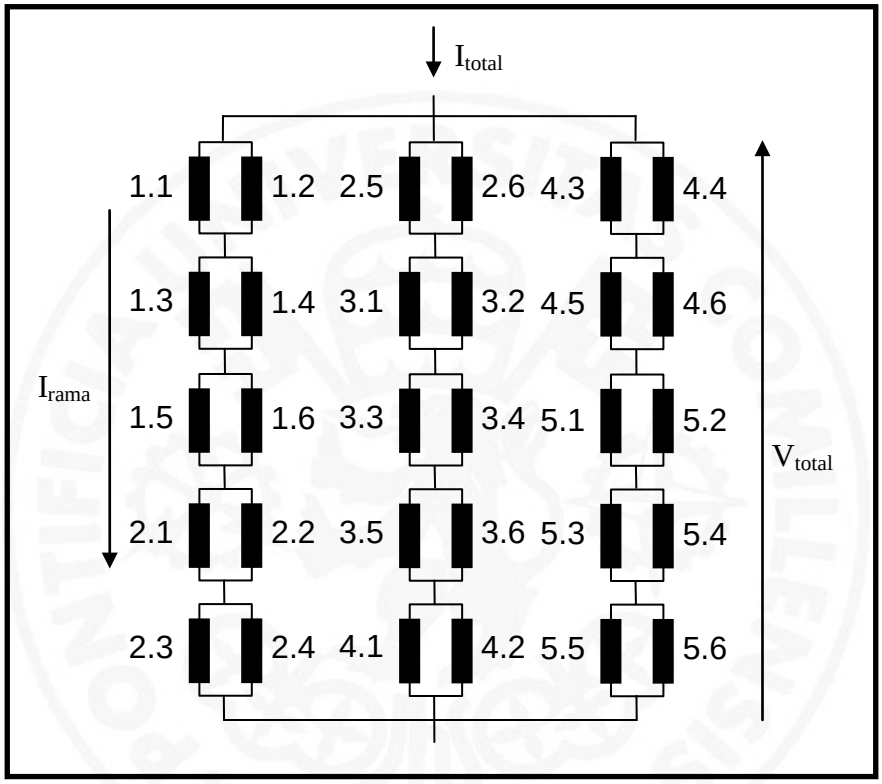


Figura 3.1.4. Conexión eléctrica interna de los módulos termoeléctricos con sus nomenclaturas correspondientes.

Para realizar esta conexión eléctrica, se han tenido en cuenta varios factores limitantes:

- Punto de trabajo nominal de los módulos: I=2A V=7V (Ver documentación en Anexos)
- Corriente máxima del amplificador de corriente 25A8 (descrito con mayor detalle en la sección 3.3): $I_{máx\ permanente}$=12.5A.

Con la conexión descrita en la Figura 3.1.4, y en caso de trabajar en el punto nominal de los módulos termoeléctricos:

- $I_{rama} = 2A \cdot 2módulos = 4A$
- $I_{total} = 4A \cdot 3ramas = 12A < 12.5A = I_{máx\ permanente}$
- $V_{total} = 7V \cdot 5 = 35V$
- $P = I_{rama} \cdot V_{total} \cdot 3ramas = 4A \cdot 35V \cdot 3 = 420W$

Por tanto, con la configuración descrita, es posible alimentar las todas las células con su corriente nominal sin acercarse al límite del sistema de alimentación.

Es posible estimar mediante las tablas adjuntas en las hojas de características de los módulos termoeléctricos (ver Figura 2.3.5 en sección 2.3.2 y hojas de características en Anexos) la potencia calorífica generada en caso de conseguir trabajar a los niveles de corriente anteriormente descritos:

- $Q_c \cong 9W$ (potencia de refrigeración ideal en cada celda con un salto térmico entre caras de 0ºC)
- $Q_{c\ total} = 9W \cdot 30módulos = 270W$

De forma que el calor total a disipar sería de:

$$420W + 270W = 690W$$

Sin embargo, se sabe por experiencias anteriores ([3] página 32) y por la adquirida en este proyecto, que, debido a las limitaciones impuestas por las dificultades en la disipación de calor en el interior del prototipo, será necesario trabajar a intensidades por debajo de la intensidad nominal de los módulos.

3.2 INSTRUMENTACIÓN

3.2.1 ADQUISICIÓN DE DATOS

La variable que toma mayor importancia en el prototipo y que, por tanto, será necesario medir con precisión es la temperatura.

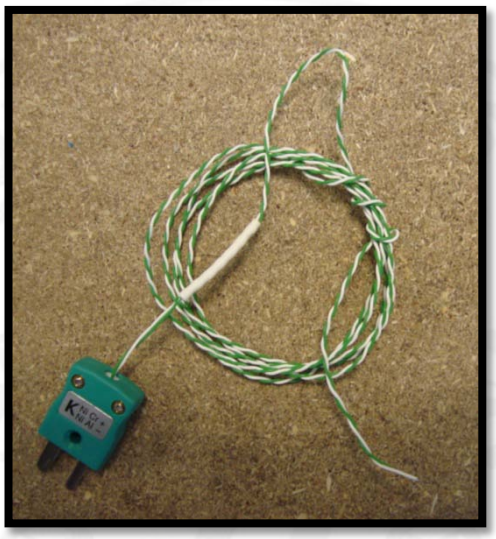


Figura 3.2.1. Termopar tipo K utilizado en el proyecto.

Para la adquisición de medidas de temperatura en las distintas partes de interés del prototipo se han instalado 27 termopares tipo K como el mostrado en la Figura 3.2.1 en las siguientes posiciones:

- 5 termopares miden la temperatura de salida del aire en la cara A del prototipo (un termopar en cada orificio de salida, correspondientes a las 5 columnas de celdas Peltier de la ventana).
- 5 termopares miden la temperatura de salida del aire en la cara B.
- 5 termopares miden la temperatura de la cara A de determinados módulos termoeléctricos (concretamente 1.1, 1.3, 1.4, 1.6 y 2.1).

- 10 termopares miden la temperatura de la cara B de determinados módulos termoeléctricos (concretamente 1.1, 1.3, 1.4, 1.6, 2.1, 3.1, 5.1, 5.3, 5.4 y 5.6).

- 2 termopares miden la temperatura en ambas caras de la ventana en la cámara de descarga de cada ventilador. Esto es lo que se tomará como medida de la temperatura ambiente en cada parte de la ventana.

La diferencia entre el número de termopares instalados en las caras A de los módulos y los instalados en las caras B se debe puramente a una falta de canales en el sistema de adquisición utilizado y a la insuficiencia de longitud de los cables de los termopares para llegar a todas las partes del prototipo. No obstante, esto no constituye un problema, puesto que en este proyecto, las temperaturas que tienen verdadero interés son las de entrada y salida de aire, siendo poco relevantes las temperaturas intermedias.

Para la adquisición de temperaturas se empleó el hardware de adquisición de datos suministrado por *National Instruments*: el hardware de DAQ actúa como interfaz entre el PC y las variables físicas medidas. Es un dispositivo, que entre otras funciones, digitaliza señales analógicas para su posterior interpretación por software.

En este proyecto se emplea un chasis SCXI-1000 (Figura 3.2.2, ver más información en hojas de características anexas): un sistema frontal de acondicionamiento de señales y conmutación para un gran número de canales con capacidad de conectividad por USB así como para diferentes dispositivos de medición y generación de señales.

Figura 3.2.2. Chasis SCXI-1000 de gestión de señales de National Instruments.

Este chasis permite la conexión de varios módulos de interfaz para la gestión de señales (en la Figura 3.2.3 puede apreciarse). Para el registro de temperaturas a partir de termopares, se ha instalado el módulo SCXI-1102B de 32 canales para entradas analógicas (Figura 3.2.4, ver más información en hojas de características anexas)

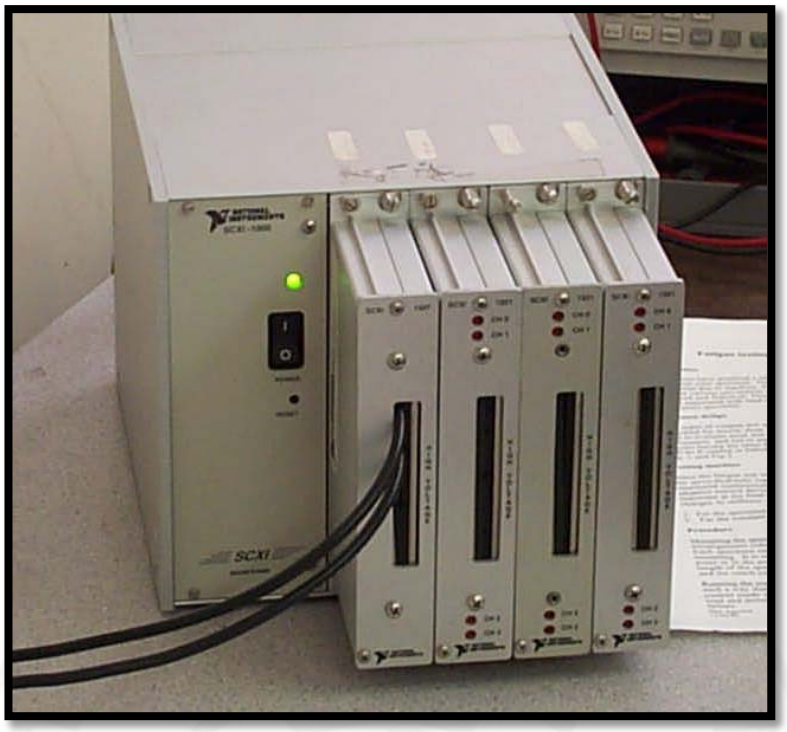


Figura 3.2.3. Chasis SCXI-1000 de gestión de señales de National Instrument con 4 módulos acoplados.

Figura 3.2.4. Módulo de adquisición de datos SCXI-1102B de National Instruments.

En la Tabla 3.2.1 se muestra un resumen de los canales analógicos del SCXI-1102B utilizados en la adquisición de temperaturas, la denominación

que toman estos canales en el sistema utilizado para la experimentación (*Labview 7.1* nombra los canales de entrada analógicos como aiX: *analog input* número X), la temperatura que miden en cada caso y algunas observaciones realizadas.

Tabla 3.2.1. Conexión de los termopares instalados en el prototipo al sistema de adquisición de datos de National Instruments.

Canal	Denominación del canal	Temperatura medida	Observaciones
CH0	ai0	Salida A	Medidas de temperatura de salida del aire en la cara A
CH1	ai1	Salida A	
CH2	ai2	Salida A	
CH3	ai3	Salida A	
CH4	ai4	Salida A	
CH5	ai5	Salida B	Medidas de temperatura de salida del aire en la cara B
CH6	ai6	Salida B	
CH7	ai7	Salida B	
CH8	ai8	Salida B	
CH9	ai9	Salida B	
CH10	ai10	Ambiente A	Temperaturas en las cámaras de descarga de los ventiladores.
CH11	ai11	Ambiente B	
CH12	ai12	N/C	No conectado. Reserva de canal para otras mediciones.
CH13	ai13	N/C	No conectado. Reserva de canal para otras mediciones.
CH14	ai14	1.1.A	Temperaturas en la cara A de los módulos termoeléctricos.
CH15	ai15	1.3.A	
CH16	ai16	1.4.A	
CH17	ai17	1.6.A	
CH18	ai18	2.1.A	
CH19	ai19	3.1.A	Preinstalación realizada pero sin conexión debido a longitud insuficiente de cable.
CH20	ai20	4.1.A	Preinstalación realizada

			pero sin conexión debido a longitud insuficiente de cable.
CH21	ai21	1.1.B	Temperaturas en la cara B de los módulos termoeléctricos.
CH22	ai22	1.3.B	
CH23	ai23	1.4.B	
CH24	ai24	1.6.B	
CH25	ai25	2.1.B	
CH26	ai26	3.1.B	
CH27	ai27	4.1.B	Preinstalación realizada pero sin conexión debido a longitud insuficiente de cable.
CH28	ai28	5.1.B	Temperaturas en la cara B de los módulos termoeléctricos.
CH29	ai29	5.3.B	
CH30	ai30	5.4.B	
CH31	ai31	5.6.B	

3.2.2 GENERACIÓN DE DATOS

Si se desea controlar la temperatura del aire que atraviesa la ventana es necesario controlar el nivel de corriente continua suministrada a la misma. Para ello se genera desde el PC una señal proporcional a la corriente deseada, la cual será enviada a una etapa de potencia (detallada en la sección 3.3) que será la encargada de suministrar esta corriente al prototipo.

La generación de la señal proporcional a la corriente deseada (mando, de ahora en adelante) se realiza mediante otro módulo acoplado al chasis SCXI-1000: el módulo de salidas analógicas SCXI-1124 (Figura 3.2.5) de 6 canales.

Figura 3.2.5. Módulo de generación de datos SCXI-1124 de National Instruments.

Este módulo genera una tensión continua, la cual será enviada a la etapa de potencia (servoamplificador 25A8 descrito en la sección 3.3) que la traducirá a corriente.

3.3 ALIMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

En esta sección se explica, de manera general el funcionamiento del circuito que compone la etapa de potencia del proyecto, así como su alimentación eléctrica y la de los ventiladores.

Se ha preferido no ahondar en la justificación de los componentes elegidos, ni en los cálculos realizados a este fin, puesto que la tarjeta correspondiente a la potencia del sistema es la utilizada en el proyecto anterior y está descrita exhaustivamente en [2] (páginas 51 a 70) y [3] (páginas 33 a 49). Sin embargo sí se justificará el uso de esta tarjeta bajo la configuración del nuevo prototipo.

3.3.1 ETAPA DE POTENCIA

Se denomina etapa de potencia a la parte del *hardware* que, a partir del mando, proporciona la corriente adecuada a las células Peltier instaladas en el prototipo. En este estudio también se incluye la alimentación de los ventiladores por estar incluida en la misma placa de alimentación a los módulos. Esta placa fue diseñada en un proyecto del curso 2006-2007 [1] y modificada en los proyectos de 2008 [2] y 2009 [3].

Es posible subdividir la etapa de potencia en varios bloques funcionales, los cuales se presentan en la Figura 3.3.1. Por un lado, en rojo aparecen los bloques destinados a la alimentación de los módulos termoeléctricos; por otro, en verde, la alimentación de los ventiladores.

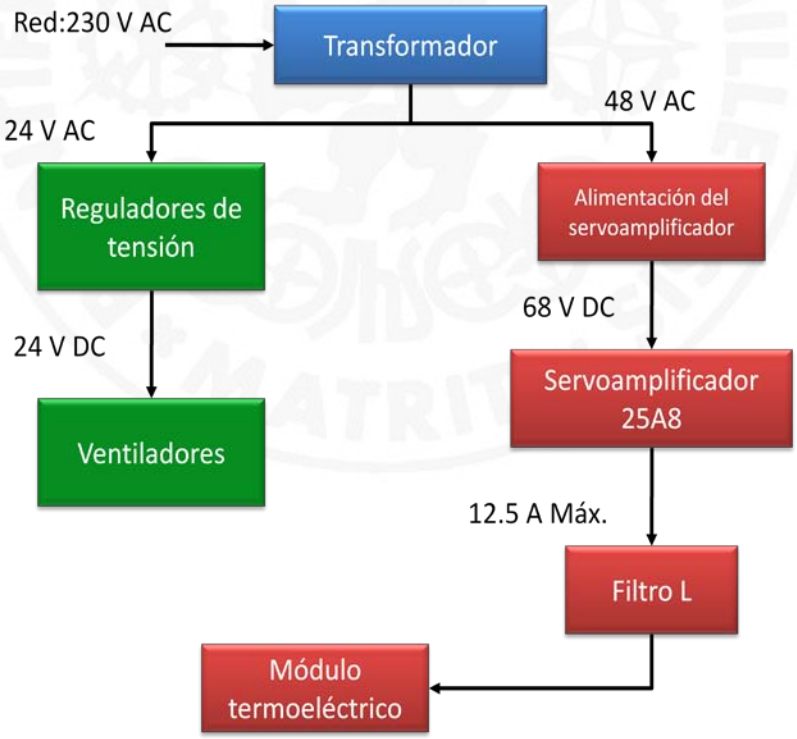


Figura 3.3.1. Esquema general de la etapa de potencia utilizada.

3.3.1.1 Alimentación de los ventiladores

Los ventiladores tienen una tensión nominal de 24 V y una corriente nominal de 1 A. Para conseguir dicha tensión, se conectan los 24 V de uno de los secundarios del transformador a un rectificador SKB25/12 y un filtro por condensador de 5.4 mF. Dos reguladores L78S00 conectados en cascada garantizan una tensión continua de 24 V a su salida. El hecho de utilizar dos reguladores en paralelo en lugar de uno, permite alimentar a los ventiladores a su corriente nominal (cada regulador soporta 1 A). En la Figura 3.3.2 se puede observar el esquema de conexionado.

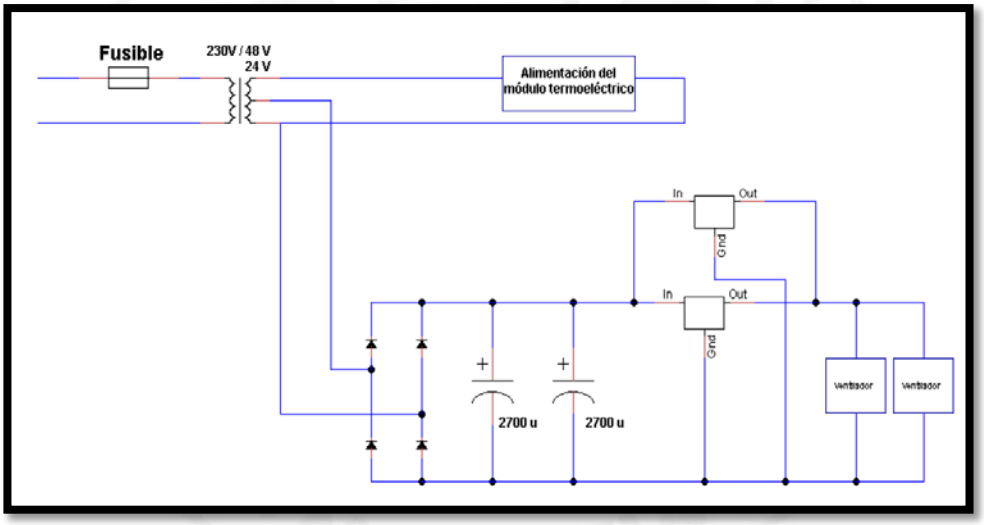


Figura 3.3.2. Plano electrónico de la alimentación a los ventiladores. Fuente: [3].

3.3.1.2 Alimentación de los módulos termoeléctricos

Alimentación del servoamplificador

En la Figura 3.3.3 puede apreciarse el esquema de conexionado general de alimentación.

A través del transformador, la tensión de la red es reducida a una tensión 48V, la cual es rectificada por medio de un puente rectificador SKB25/12 y un filtro con condensador de 6.8 mF, obteniéndose una tensión continua rectificada en torno a los 68V. El condensador electrolítico (de 6.8 mF) no trabaja bien a altas frecuencias, por lo que es preciso poner un condensador cerámico en paralelo.

Además, cabe destacar el montaje de una resistencia en paralelo con ambos condensadores, cuya función será la descarga de los mismos tras la desconexión del circuito. Debido a su elevado valor, no supondrá una pérdida importante de potencia mientras el circuito está conectado.

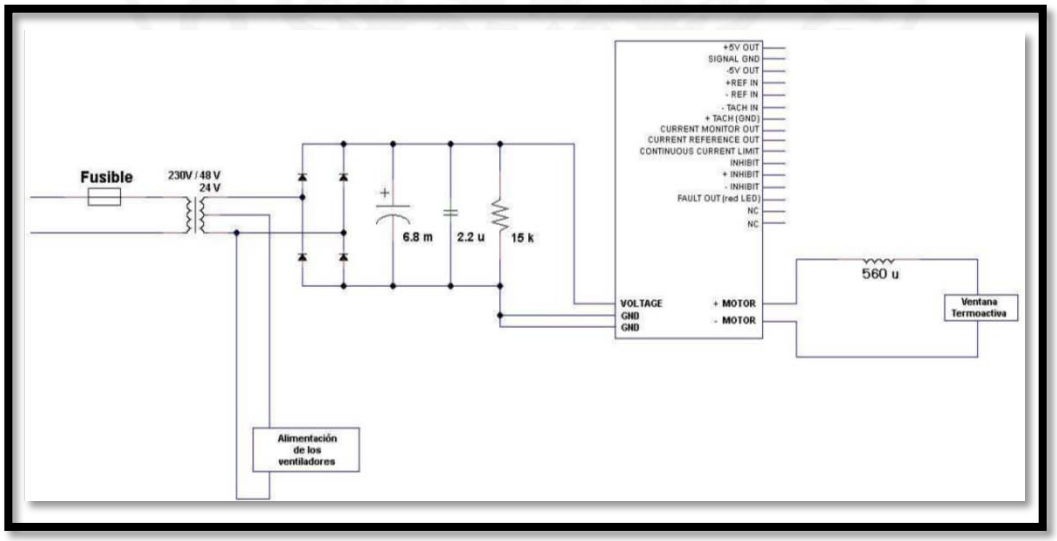


Figura 3.3.3.Esquema general de alimentación.

El servoamplificador es el encargado de aportar potencia a la señal de mando proveniente del sistema de generación de datos conectado al PC, suministrando así la corriente suficiente a los módulos termoeléctricos.

En este proyecto, las células Peltier utilizadas son de la casa *Laird Technologies* modelo CP08-63-06-W9, cuyas características principales son las recogidas en la Tabla 3.3.1.

Tabla 3.3.1. Características de los módulos termoeléctricos CP08-63-06-W9 de Laird Technologies.

PERFORMANCE SPECIFICATIONS		
Hot Side Temperature (°C)	25°C	50°C
Qmax (Watts)	9.0	9.9
Delta Tmax (°C)	67	75
Imax (Amps)	2.1	2.1
Vmax (Volts)	7.6	8.2
Module Resistance (Ohms)	3.13	3.53

Las características de los módulos termoeléctricos utilizados y la conexión eléctrica realizada entre ellos (ver 3.1.3 *Conexión eléctrica*) permite la utilización del servoamplificador montado en el proyecto anterior (2009): el modelo 25A8 de la casa *Advanced Motion Controls*, cuyas características generales se recogen en la Tabla 3.3.2.

.

Tabla 3.3.2. Resumen de las características eléctricas principales del servoamplificador 25A8 de Advanced Motion Controls.

Especificaciones eléctricas		
Descripción	**Unidades**	**Valor**
Rango de tensión de alimentación (CC)	V (CC)	20 – 80
Corriente máxima de pico de salida	A	25
Corriente máxima permanente de salida	A	12.5
Disipación máxima de potencia con corriente permanente	W	50

Como puede observarse en la Tabla 3.3.2, la alimentación de 68V en tensión correcta está dentro de los márgenes requeridos por el dispositivo, y la demanda máxima de corriente descrita en la sección 3.1.3 (12 A en total) se adapta también a las especificaciones, por lo que se puede concluir que la utilización del servoamplificador 25A8 en el presente proyecto es aceptable.

Es importante destacar que la característica de corriente de salida – tensión de entrada del servoamplificador ha sido ajustada a 1A/V. Esto quiere decir que, para un mando ejemplo de 5V generado por el PC, la ventana estará siendo suministrada con 5A de corriente continua en total, de la cual cada módulo termoeléctrico recibirá $\frac{5A}{3ramas \cdot 2} = 0.833A$.

Las características específicas del servoamplificador de corriente 25A8 están descritas con mayor profundidad en el documento del proyecto anterior [3], páginas de la 37 a la 40.

Filtro L

El filtro por inductancias utilizado fue diseñado en el proyecto anterior [3], en cuyo documento se resumen los criterios y fases del diseño. Se ha estimado que, realizando algunas correcciones a dicho filtro, éste es perfectamente válido para el proyecto actual. Estas modificaciones implican situar dos bobinas de valor 560µH (una antes y otra después de la ventana) en el filtro, en lugar de una. En la Figura 3.3.4 se muestra el filtro utilizado finalmente en el proyecto.

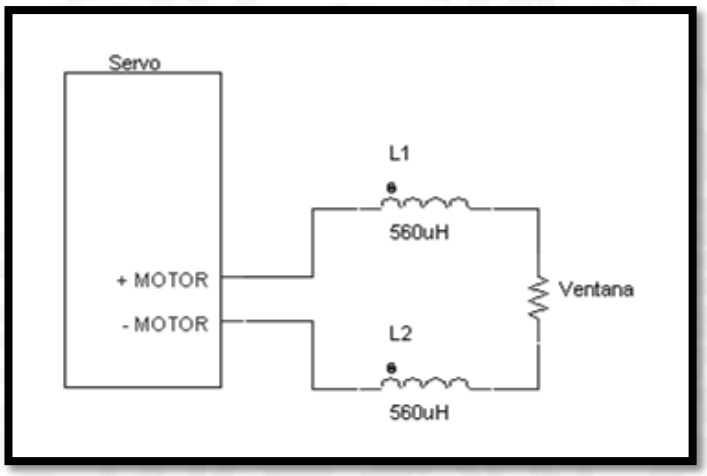


Figura 3.3.4. Esquema del filtro L utilizado.

3.4 PUESTA EN MARCHA

Una vez tenidos en cuenta y estudiados todos los puntos anteriores es posible conectar todo el sistema y ponerlo en marcha.

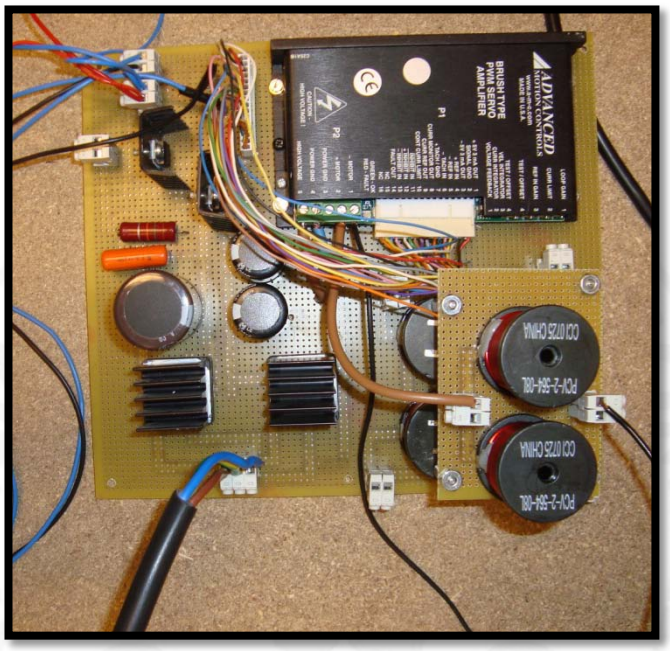


Figura 3.4.1. Conexión de la placa electrónica y del filtro L.

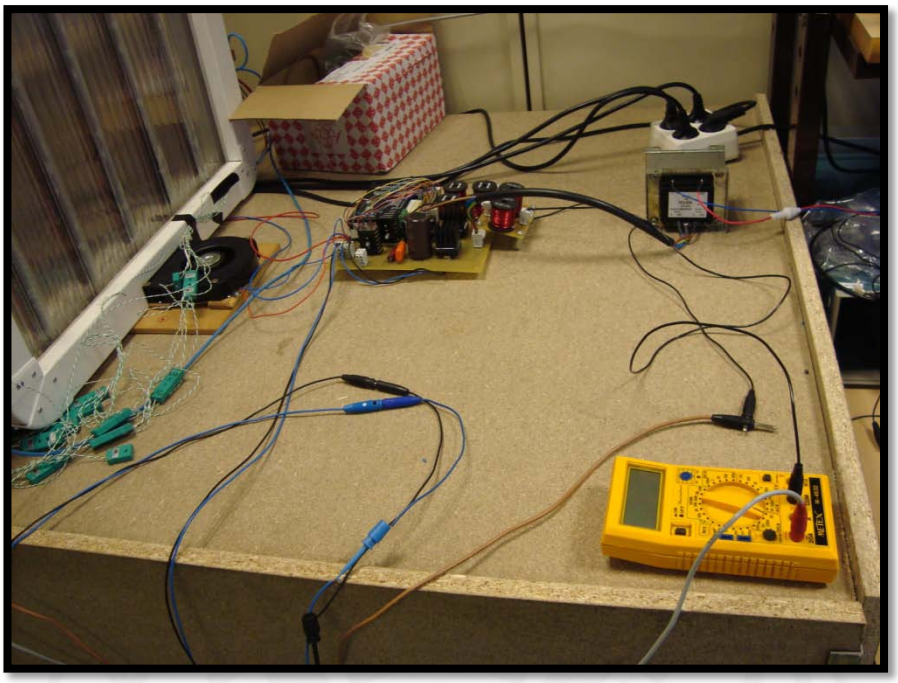


Figura 3.4.2. Conexión general (Vista 1).

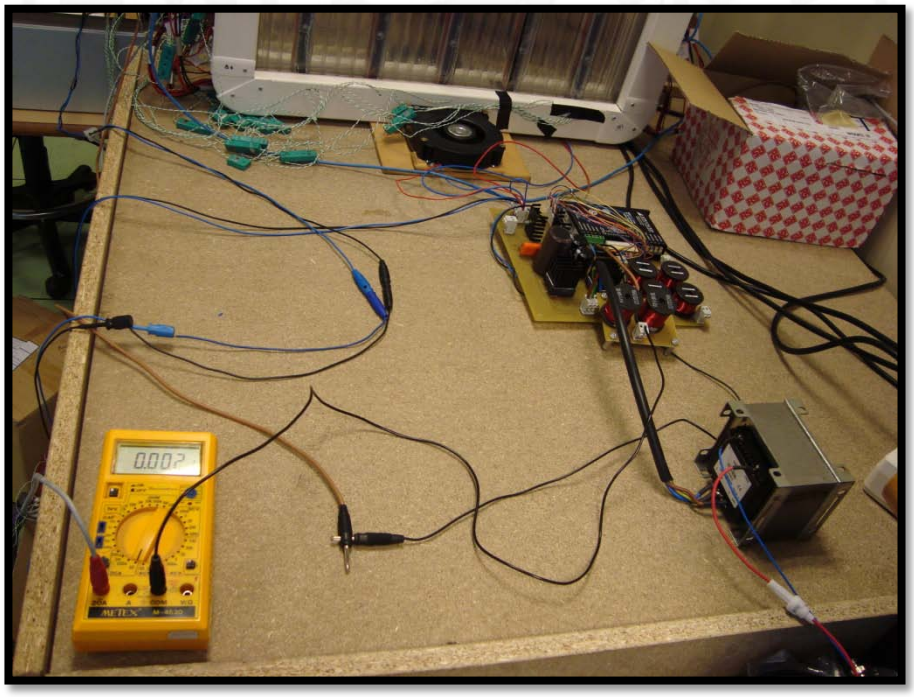


Figura 3.4.3. Conexión general (Vista 2)

Con el conexionado anterior realizado y comprobado, se llevó a cabo un ensayo en lazo abierto (sin aplicar control, especificando manualmente el

mando a aplicar en cada instante, ver Parte III, Capítulo 3 *Ensayo en lazo abierto*) para tomar contacto con el prototipo y extraer algunas conclusiones preliminares. A continuación (Figura 3.4.4, Figura 3.4.5 y Figura 3.4.6) se muestran los resultados de dicho ensayo, en el cual se realizaron las acciones detalladas en la Tabla 3.4.1.

Las temperaturas medidas y reflejadas en las gráficas corresponden a las medias de las medidas de los termopares correspondientes. Así, la temperatura ambiente es la media de las temperaturas medidas por los dos termopares situados en las cámaras de descarga de los ventiladores, la temperatura de la cara fría es la media de las temperaturas medidas por los termopares situados en cada uno de los cinco orificios de salida de aire en la cara fría, y esto mismo ocurre con la temperatura de la cara caliente.

Tabla 3.4.1. Ensayo en lazo abierto.

Tiempo transcurrido (min)	Tiempo parcial (min)	Mando (V)	Observaciones
0	0	0	Comienzo del ensayo
6	6	0	Encendido de los ventiladores
23	17	-0.5	Aunque el mando es de -0.5V, la corriente real es de -0.21A
45	22	-1	-
60	15	-1.5	-
75	15	-2	-
92	17	-2.5	-
107	15	-2	-
122	15	-1.5	-
137	15	-1	-
152	15	-0.5	-
167	15	0	-

Se han tomado como corrientes positivas las que provocan temperaturas más altas que la temperatura ambiente y viceversa. El mando aplicado es siempre negativo para dejar constancia de que se está tratando de enfriar.

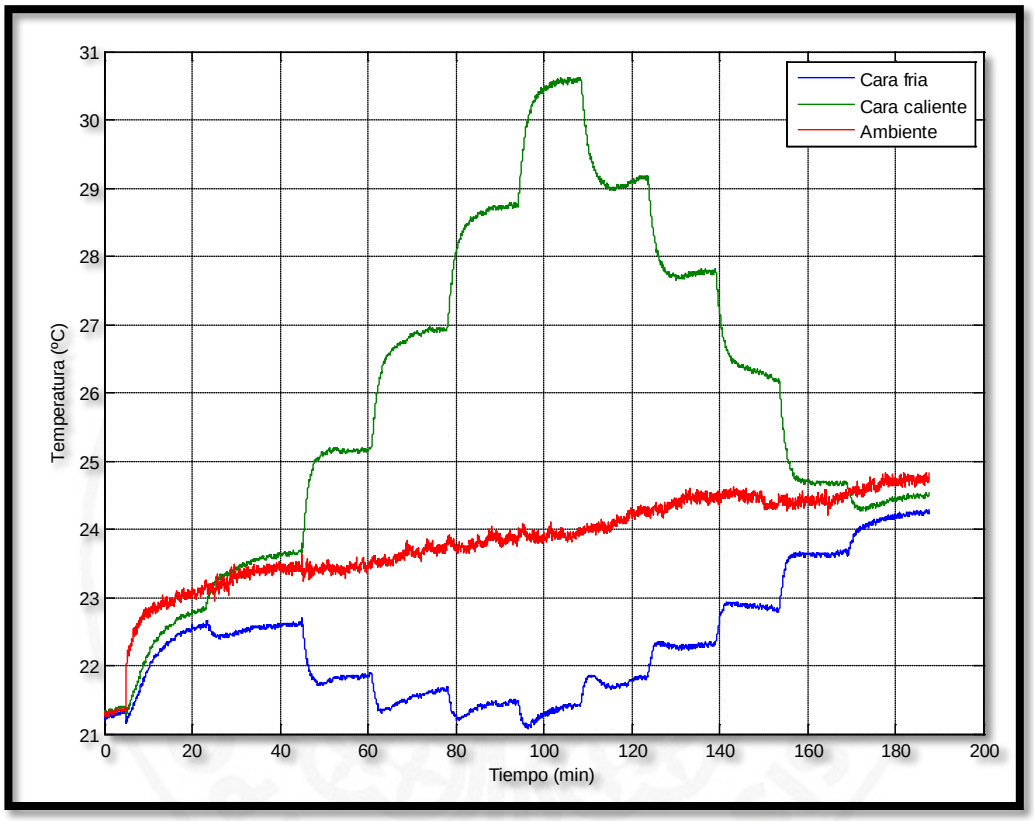


Figura 3.4.4. Medida de temperaturas ambiente, salida de aire de la cara fría y salida de aire de la cara caliente de la ventana en el ensayo en lazo abierto.

Debido al incremento de la temperatura ambiente en el laboratorio a lo largo del ensayo, la Figura 3.4.4 presenta una información un tanto distorsionada, por lo que se presenta en la Figura 3.4.5 una gráfica en la que se resta la temperatura ambiente instantánea al resto de medidas, con lo que se consigue apreciar mejor el resultado del ensayo.

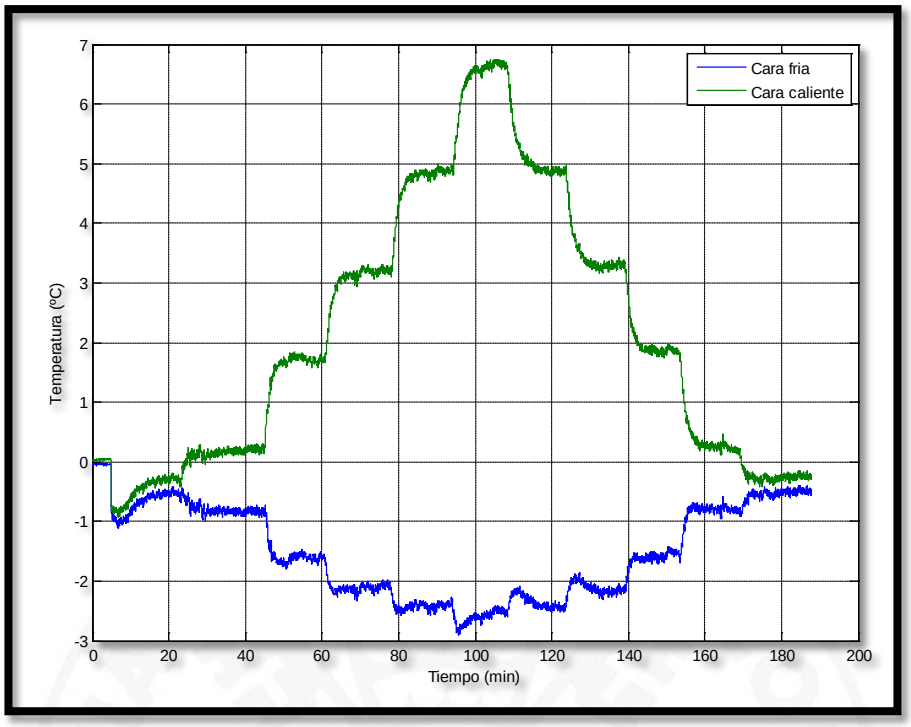


Figura 3.4.5. Incrementos de la temperatura del aire a la salida de ambas caras de la ventana sobre la temperatura ambiente en el ensayo en lazo abierto.

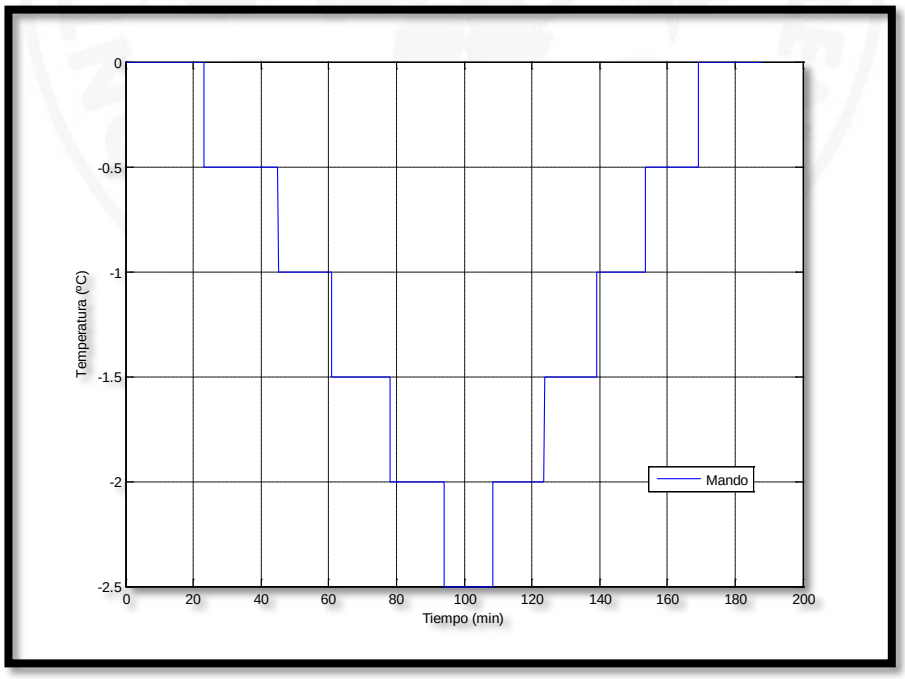


Figura 3.4.6. Mando aplicado manualmente en el ensayo en lazo abierto.

Del ensayo en lazo abierto realizado pueden extraerse algunas conclusiones:

- Al tomar como temperatura ambiente la temperatura de la cámara de descarga de los ventiladores, ésta sufre un calentamiento brusco al encenderlos. Sin embargo, este efecto no supondrá un problema, puesto que este incremento de la temperatura es constante, al no variar la alimentación de los ventiladores a lo largo de los ensayos, y se elimina al trabajar con incrementos sobre la temperatura ambiente.

- En el primer escalón de 0 a -0.5A no llega a producir una corriente real en la ventana de 0.5A, sino que sólo alcanza 0.21A. Esto puede deberse a la resistencia opuesta por las bobinas del filtro L a paso de corriente inicialmente.

- Se observa que la temperatura de la cara fría tiende a aumentar en lugar de permanecer constante cuando se aplica un mando de valor absoluto mayor que 2.5A (aproximadamente 0.42A por celda). Esto es debido a que el sistema es incapaz de evacuar todo el calor generado en la cara caliente, y éste comienza a pasar por efecto de la Ley de Fourier, a la cara fría.

  Este efecto limitará por tanto el funcionamiento del sistema de ahora en adelante y supondrá la necesidad de trabajar a una corriente reducida en los módulos termoeléctricos (muy por debajo de su corriente de funcionamiento nominal), viéndose entonces afectado el rendimiento de éste de manera crítica.

Capítulo 4 IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA

Para diseñar un control de la temperatura del flujo de aire es imprescindible obtener un buen modelo matemático sobre el que trabajar en simulación, teniendo la seguridad de que este se ajuste a la realidad.

Este capítulo trata sobre el modelado del sistema, que es una tarea de vital importancia para la obtención de un buen diseño.

Inicialmente, en el apartado 4.1 se describirá parte del trabajo llevado a cabo para la realización de una identificación por los principios físicos que gobiernan el sistema y se comentarán los resultados obtenidos.

En segundo lugar, para identificar el sistema se utilizará la metodología del modelado por caja negra, descrita en el apartado 0, por la cual se obtiene una función de transferencia que relaciona la temperatura del flujo de aire de salida de una de las caras y el mando (corriente) aplicado. Esto se hace considerando el sistema una caja con entradas y salidas, todo el proceso se explica en 4.2 Modelado por caja negra. Tras la obtención del modelo se procederá a su validación, comparando su respuesta con la respuesta en ensayos.

Para concluir este capítulo en 4.3 Conclusión se exponen los principales resultados de la identificación del sistema junto con el modelo que se empleará para diseñar el regulador de temperatura.

4.1 MODELADO POR PRINCIPIOS FÍSICOS

Para diseñar un buen control de la temperatura del flujo de aire en la cara fría de la ventana es necesario obtener un modelo del sistema. La identificación basada en principios físicos o también conocido modelado por caja gris se basa en principios termodinámicos y eléctricos para deducir la estructura del modelo y datos experimentales para obtener los parámetros del modelo. Esta metodología, implica un conocimiento del proceso y de las leyes físicas y matemáticas que lo describen, así como una buena caracterización de los materiales que lo componen.

En ocasiones el proceso de obtención de un modelo empleando este método es muy complejo, lo que lleva a realizar simplificaciones el sistema y a linealizarlo. La simplificación del sistema es una tarea crítica, usualmente las hipótesis que deben hacerse llevan a resultados no satisfactorios que solo son aplicables alrededor del punto de trabajo en el cual se ha linealizado el sistema.

NOTA: el modelado basado en principios físicos que se describe en esta sección se llevó a cabo paralelamente a la construcción del prototipo de la ventana, por lo que se trató de identificar un sistema similar, cuyos esquemas de funcionamiento son idénticos a los de la ventana termoeléctrica y del que ya se habían realizado ensayos con los que trabajar. El sistema utilizado es el descrito en el proyecto [2].

El modelado de un sistema térmico es en principio complicado, ya que la temperatura no suele ser homogénea en los sistemas, lo que dará lugar a ecuaciones diferenciales y, por lo tanto, a modelos de parámetros distribuidos. Se suele simplificar dividiendo el sistema en varias partes, como se ha realizado en este proyecto, o considerando una sola, suponiendo la temperatura homogénea. Así se obtienen ecuaciones diferenciales ordinarias, y por lo tanto modelos con parámetros concentrados.

El calor puede fluir por conducción, convección y por radiación. El primer fenómeno es lineal, el flujo de calor es proporcional a la diferencia de temperatura. La convección es debida a un flujo de calor sobre la superficie del cuerpo de sustancias gaseosas o líquidas. La refrigeración de semiconductores en pequeñas potencias se realiza principalmente por convección La transferencia de calor por radiación sólo se aprecia si la temperatura del emisor es muy alta en comparación con la del receptor, en la mayor parte de los procesos térmicos en los sistemas de control de procesos no involucran transferencia de calor por radiación.

Un parámetro utilizado en conducción y, linealizado en convección y radicación es la resistencia térmica R (ºC/W o K/W), que es la relación entre el gradiente de temperaturas y el flujo de calor por unidad de tiempo evacuada a través de un conductor térmico. De la siguiente ecuación se deduce que cuanto mayor es la resistencia menor es el flujo de calor para igual salto térmico.

$$p(t) = \frac{T_1(t) - T_2(t)}{R} = \frac{\Delta T(t)}{R}$$

Otro parámetro que interviene en el régimen transitorio de los sistemas térmicos es la capacidad térmica C (J/ºC o J/K). La capacidad térmica de

un cuerpo es la cantidad de calor que hay que proporcionar para aumentar su temperatura un grado.

$$T(t) = T(0) + \frac{1}{C} \cdot \int_0^t p(t) \cdot dt \Rightarrow C \cdot \frac{dT}{dt} = p(t)$$

Una vez conocidos los principios que rigen un sistema térmico y teniendo en cuenta los efectos termoeléctricos que se dan debido a las células Peltier, se procede a la obtención de un modelo que refleje la dinámica del sistema. Hay que tener en cuenta que el modelado del sistema debe incluir los disipadores y los ventiladores que están situados en el prototipo. Otro importante detalle es que el prototipo URL está formado por 30 módulos termoeléctricos, por lo que los coeficientes que se obtengan del modelado corresponden a la suma de todos ellos.

En este sistema hay tres tipos de transferencias de calor que se producen debido a los siguientes efectos:

- Efecto *Seebeck*

  La corriente aplicada al módulo termoeléctrico produce un flujo de calor que se transfiere de una superficie cerámica de la célula a otra.

  $$Q = S \cdot I \cdot T$$

  Donde Q (W) es el calor, S (V/K) es el coeficiente de *Seebeck* del módulo termoeléctrico (cuatro veces el coeficiente de *Seebeck* de cada una de las células Peltier), I (A) es la corriente y T es la temperatura en Kelvin.

- Efecto *Joule*

Cuando circula una corriente a través de un conductor, se produce un calentamiento del mismo. Este calentamiento no es más que disipación de energía en forma de calor, que se reparte en partes iguales entre la unión fría y la unión caliente:

$$Q = \frac{R}{2} \cdot I^2$$

Donde R (Ω) es la resistencia eléctrica equivalente a las treinta células Peltier.

- Efecto *Fourier*

  El calor transferido entre los dos lados, el caliente y el frío, causado por el gradiente de temperatura. Este gradiente de temperatura es provocado por la aplicación de corriente a las células.

$$Q = \frac{T_{caliente} - T_{fría}}{R_p}$$

  Donde $T_{caliente}$ y $T_{fría}$ son las temperaturas en Kelvin de los lados caliente y frío respectivamente, y R_P (K/W) es la resistencia térmica de la célula Peltier.

La cantidad total de calor que hay que disipar en el lado caliente y el calor extraído del lado frío se obtiene combinando las ecuaciones anteriores:

$$Q_{caliente} = S \cdot I \cdot T_{caliente} + \frac{R}{2} I^2 - \frac{T_{caliente} - T_{fría}}{R_p}$$

$$Q_{frío} = S \cdot I \cdot T_{fría} - \frac{R}{2} I^2 - \frac{T_{caliente} - T_{fría}}{R_p}$$

La potencia eléctrica que consume el equipo es:

$$P = V \cdot I = Q_{caliente} - Q_{frío} = S \cdot I \cdot \left(T_{caliente} - T_{fría}\right) + R \cdot I^2$$

$$V = S \cdot (T_{caliente} - T_{fría}) + R \cdot I$$

Por lo tanto, la resistencia equivalente del dispositivo no es lineal y depende del gradiente de temperatura. Hay que tener en cuenta la capacidad energética de los disipadores, asumiendo que cada disipador es isotérmico se puede considerar que son elementos puramente capacitivos.

$$\frac{T_{caliente} - T_{amb}}{Q_{caliente}} = \frac{R_{caliente}}{1 + R_{caliente} \cdot C_{caliente} \cdot s}$$

$$\frac{T_{amb} - T_{fría}}{Q_{frío}} = \frac{R_{fría}}{1 + R_{fría} \cdot C_{fría} \cdot s}$$

Donde T_{amb} (K) es la temperatura ambiente, $R_{caliente}$ (K/W) y $R_{fría}$ (K/W) es la resistencia térmica entre el lado caliente y frío de la célula Peltier y el aire, $C_{caliente}$ y $C_{fría}$ es la capacidad térmica y s es la variable de *Laplace* empleada para expresar las ecuaciones en funciones de transferencia.

Hay que destacar que la capacidad térmica depende del tamaño de los disipadores y que la resistencia térmica depende de:

- El contacto térmico entre la célula y el disipador.
- El modelo de disipador.
- La tensión con la que se alimenta a los ventiladores, es decir la velocidad a la que mueven el aire.

A partir de las ecuaciones anteriores se construye el diagrama de bloques de la Figura 4.1.1. Este diagrama corresponde a la estructura del modelo en lazo abierto funcionando en modo refrigeración. El modo de funcionamiento del sistema hay que tenerlo en cuenta en el criterio de signos. El color rojo que se observa en el diagrama de bloques se refiere al lado caliente, el color azul al lado frío y el color verde corresponde con la

variable de salida, es decir, la temperatura del flujo de aire. El signo cambia entre el lado caliente y el lado frío.

Cuando el sistema funciona en modo refrigeración, el calor extraído de la fuente fría, debido al gradiente de temperatura con respecto al ambiente, es el flujo calor que enfría el flujo de aire de salida. La temperatura del flujo de aire y el calor extraído del lado frío del modulo termoeléctrico están relacionadas entre sí por medio de una ganancia R_{ch} (K/W), la obtención de esta resistencia térmica y el resto de los parámetros se encuentra en el siguiente apartado.

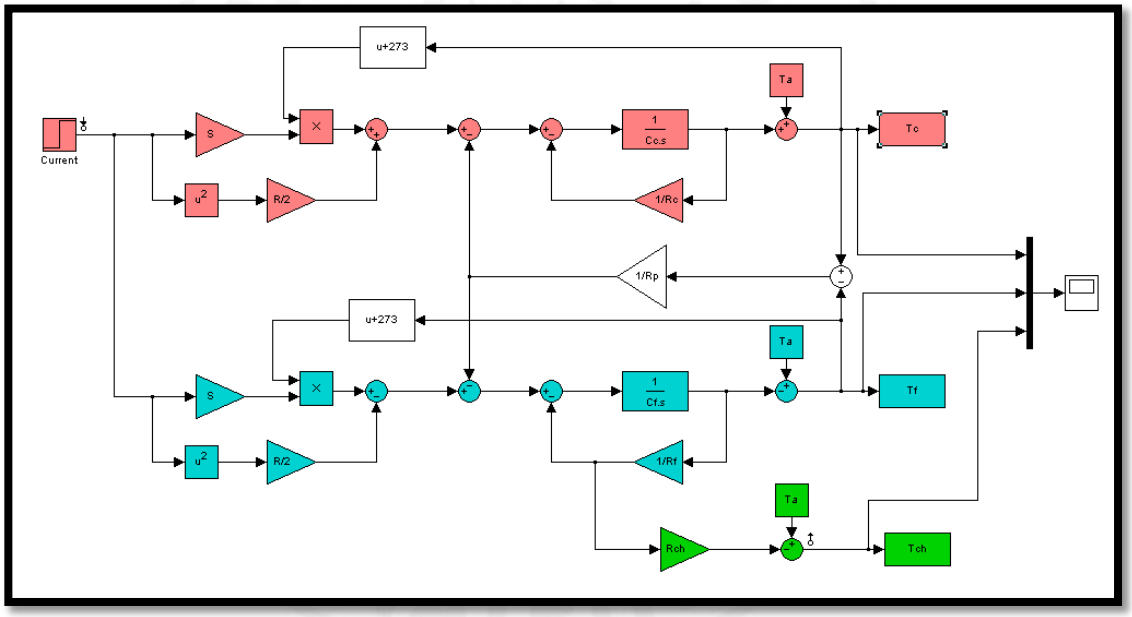


Figura 4.1.1. Diagrama de bloques del modelo.

Una vez obtenido el diagrama de bloques que emulaba el sistema a controlar, se utilizó una variante del fichero ajuste.m (Parte IV) para tratar de ajustar los coeficientes del modelo de forma que su respuesta fuese lo más parecida a la respuesta de algunos ensayos realizados previamente en el sistema. Los resultados no fueron satisfactorios y, por falta de tiempo y puesto que el prototipo de ventana termoactiva ya estaba terminado, se

decidió proseguir con el modelado por caja negra que se describe en el apartado siguiente, dejando como futuro desarrollo la profundización en este campo para obtener un modelo más exacto del sistema.

4.2 MODELADO POR CAJA NEGRA

El modelado por caja negra parte del desconocimiento total del proceso interno que ocurre en el sistema, el cual es visto como una caja negra con entradas y salidas. Los modelos por caja negra se diseñan enteramente a partir de datos, sin tenerse en cuenta la interpretación de los parámetros que lo definen. Se parte de la selección de una estructura para el modelo (por ejemplo, si se desea trabajar con funciones de transferencia, se partirá de la suposición de que el sistema es un primer orden, un segundo orden con retardo, un segundo orden con cero, etc.) y se ajustan los coeficientes hasta optimizar la respuesta del modelo para amoldarse a la del sistema físico. Los parámetros de estos modelos por lo general no tienen significado físico y se ajustan para reproducir los datos observados tan bien como sea posible.

Aún así, un sistema correctamente modelado por caja negra y uno obtenido por principios físicos y linealización deberían parecerse al menos en la forma. El desarrollo de un modelo por caja negra podría ayudar a la obtención de uno mediante principios físicos pudiendo aportar información acerca de la magnitud de los valores, por ejemplo; y viceversa, puesto que un modelo obtenido mediante principios físicos podría aportar información acerca de la estructura para obtener uno por caja negra.

4.2.1 OBTENCIÓN DE PARÁMETROS

Es necesario comparar la salida que se obtiene simulando un modelo con una estructura propuesta y la salida de un ensayo, aplicándoles la misma señal de entrada para obtener la función de transferencia del prototipo.

Para obtener un buen modelo que refleje el comportamiento real del sistema es recomendable que el ensayo presente una respuesta con oscilaciones, de esta forma el ensayo contiene una mayor información, permitiendo así obtener unos parámetros para el modelo más cercanos a la realidad. Por esta razón, en la identificación de sistemas que lo permitan, se suelen realizar ensayos en lazo cerrado con control proporcional, elevando la constante proporcional hasta obtener una respuesta lo suficientemente rica en información (con suficientes oscilaciones sin llegar a hacer el sistema inestable).

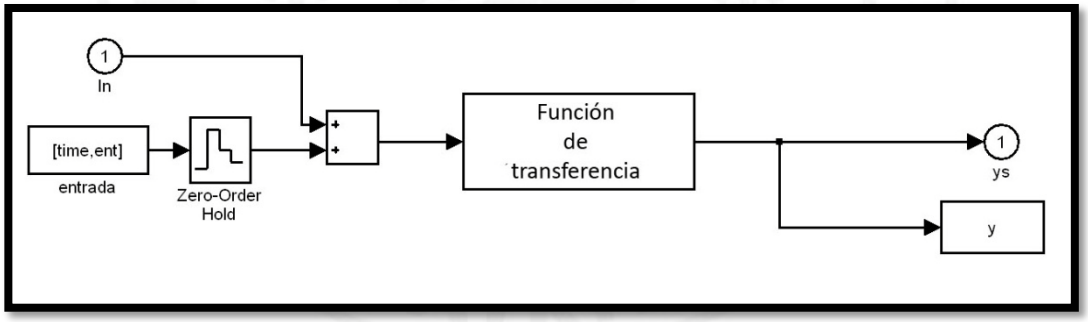


Figura 4.2.1. Diagrama de bloques que permite simular la respuesta de una función de transferencia ante una entrada discreta.

El diagrama de bloques de la Figura 4.2.1 permite simular distintas estructuras de función de transferencia. Esta función de transferencia relacionará la temperatura del flujo de aire de la cara fría de la ventana y la corriente aplicada al sistema (mando), es decir, la salida del control.

El modelo se obtiene ejecutando los programas `prepara_datos.m`, que carga los datos recogidos en un ensayo y recorta el escalón elegido en cada caso para el ajuste; y `Ajuste.m`, que trata de ajustar los parámetros de una función de transferencia para que la respuesta de la simulación del diagrama de bloques de la Figura 4.2.1 se aproxime lo más posible a la del ensayo. Los códigos de ambos programas se encuentran la Parte IV.

El ensayo que se ha utilizado para obtener el modelo (Figura 4.2.2) es un ensayo en lazo cerrado con un control proporcional de ganancia igual a 15 y con mando saturando entre 0 y -3A (puesto que, como se vio en la sección 3.4, no tiene sentido trabajar con un mando de mayor corriente).

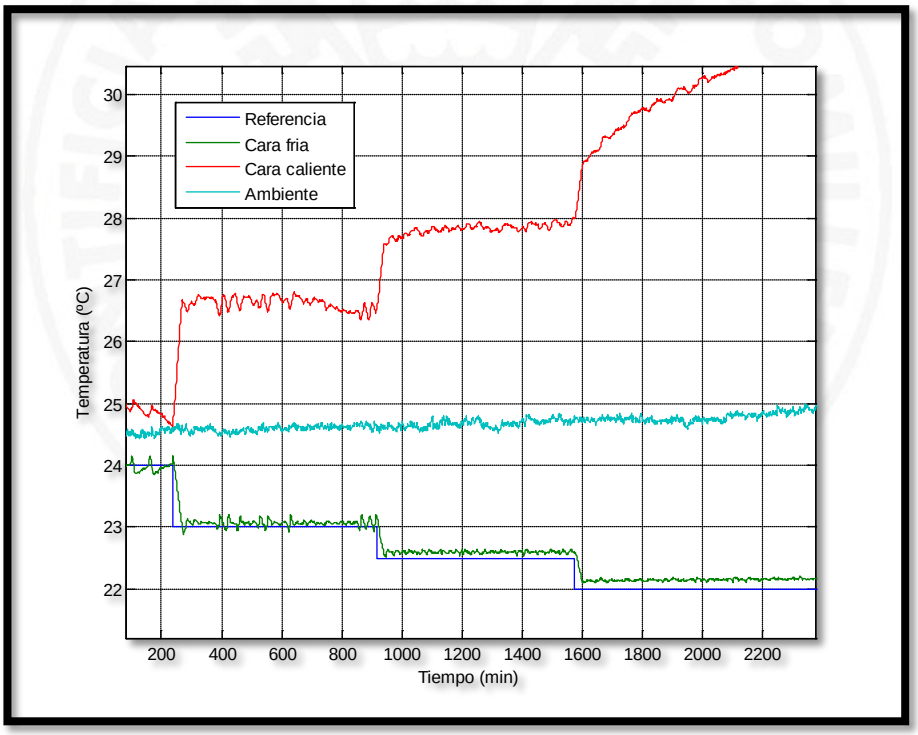


Figura 4.2.2. Gráfica de las temperaturas medidas en el sistema en un ensayo en lazo cerrado con control proporcional Kp=15 y con saturación de mando entre 0 y -3A.

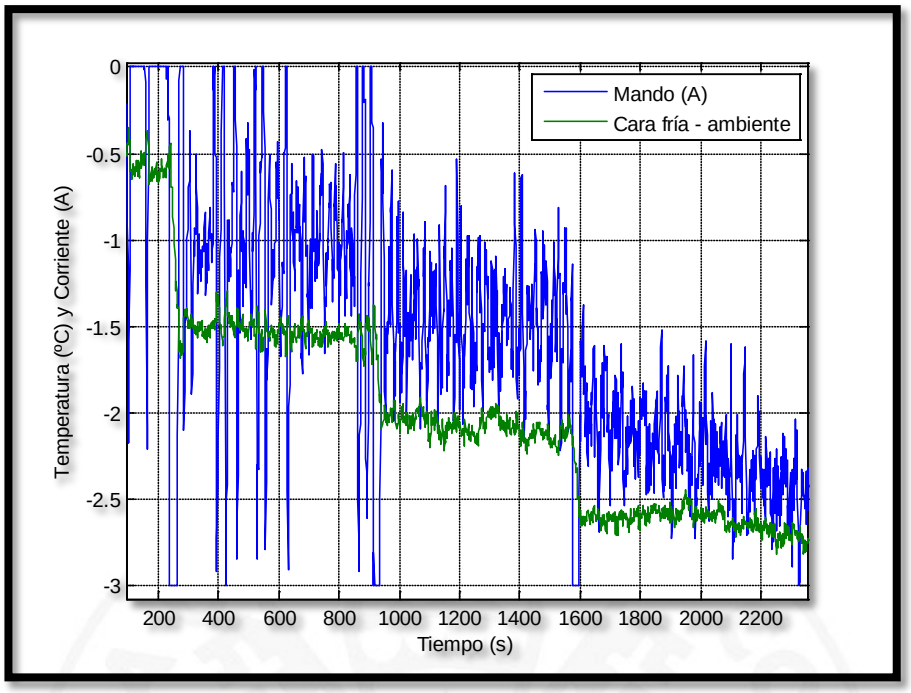


Figura 4.2.3. Gráfica del mando aplicado al sistema en un ensayo en lazo cerrado con control proporcional Kp=15 y con saturación entre 0 y -3A.Se superpone en verde la gráfica de la diferencia de temperatura entre la cara fría de la ventana y el ambiente.

Los escalones aplicados en el ensayo son unitarios de 24 a 23, 22.5 y a 22ºC respectivamente, y se utilizó el primero para la identificación del sistema. Como se puede observar en la Figura 4.2.3, con la constante del control proporcional elegida (Kp=15) el mando satura siempre al principio de los transitorios, por esta razón, no tiene sentido aumentar más dicha constante para obtener una respuesta más oscilante (y con más información).

Para obtener el modelo de la planta hay que proponer una estructura para la función de transferencia. En este caso no se parte del desconocimiento absoluto de la estructura del sistema, puesto que, en el proyecto anterior se obtuvo una función de transferencia para un modelo similar (ver [3],

páginas 54 a 59). En este documento se proponía un sistema ideal de segundo orden, obteniéndose unos resultados razonables.

Se observó además en los ensayos la peculiaridad de que la temperatura tendía siempre a comenzar respondiendo opuestamente a la referencia (para un escalón negativo, la temperatura ascendía ligeramente al principio del ensayo). Esta es una característica de los sistemas con un cero positivo, por lo que se utilizaron estructuras de funciones de transferencia ideales y con cero para realizar el ajuste.

A continuación, en la Figura 4.2.4, Figura 4.2.5 y Figura 4.2.6 se muestran ajustes para sistemas de primer, segundo y tercer orden respectivamente.

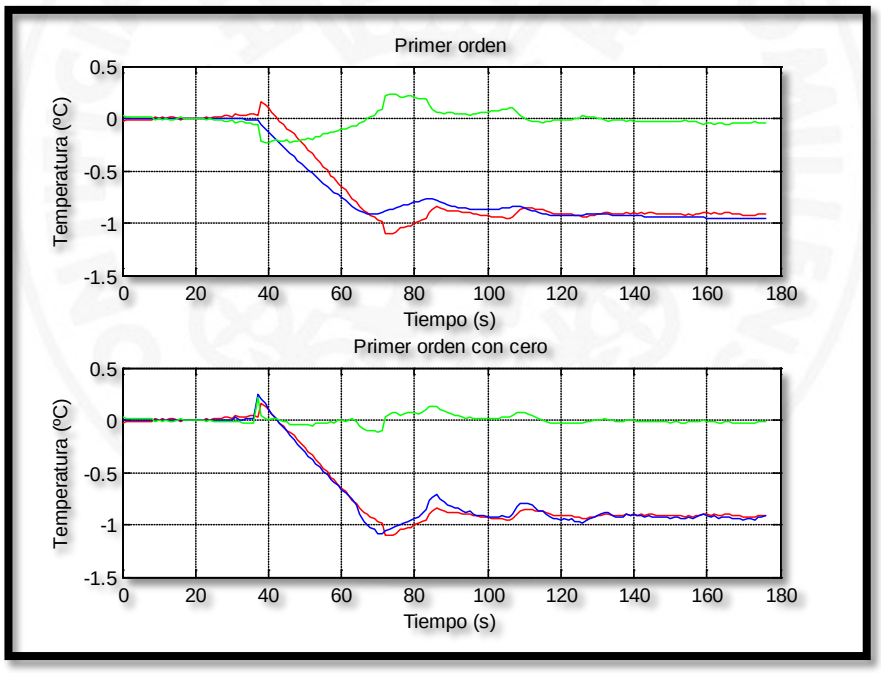


Figura 4.2.4. Ajustes para una estructura propuesta de función de transferencia de primer orden y de primer orden con cero. En rojo, la respuesta del ensayo, en azul la respuesta simulada y en verde el error cometido en el ajuste.

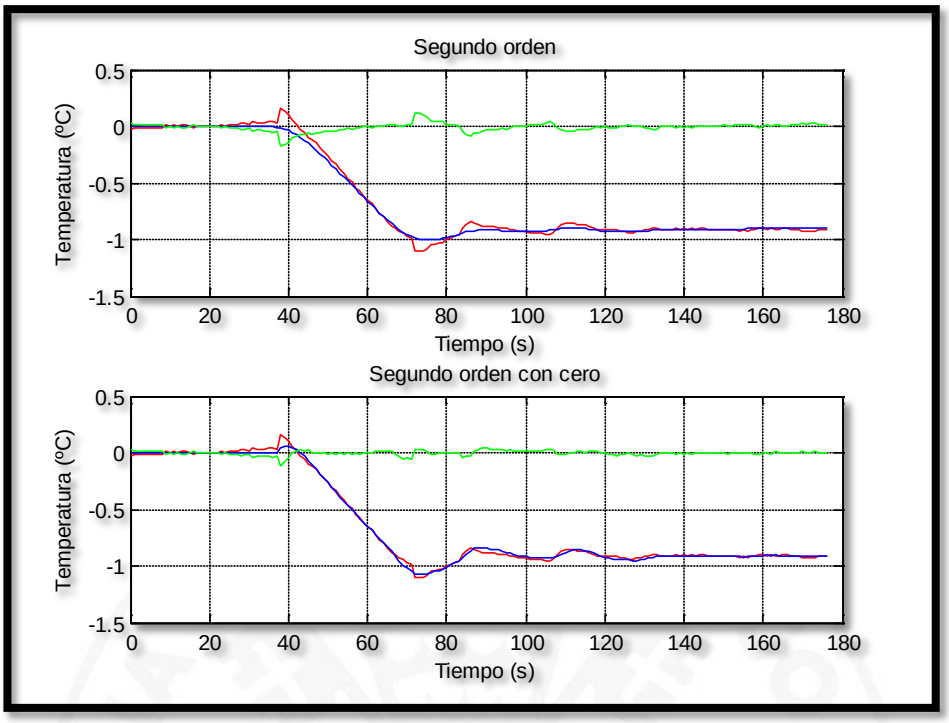


Figura 4.2.5. Ajustes para una estructura propuesta de función de transferencia de segundo orden y de segundo orden con cero. En rojo, la respuesta del ensayo, en azul la respuesta simulada y en verde el error cometido en el ajuste.

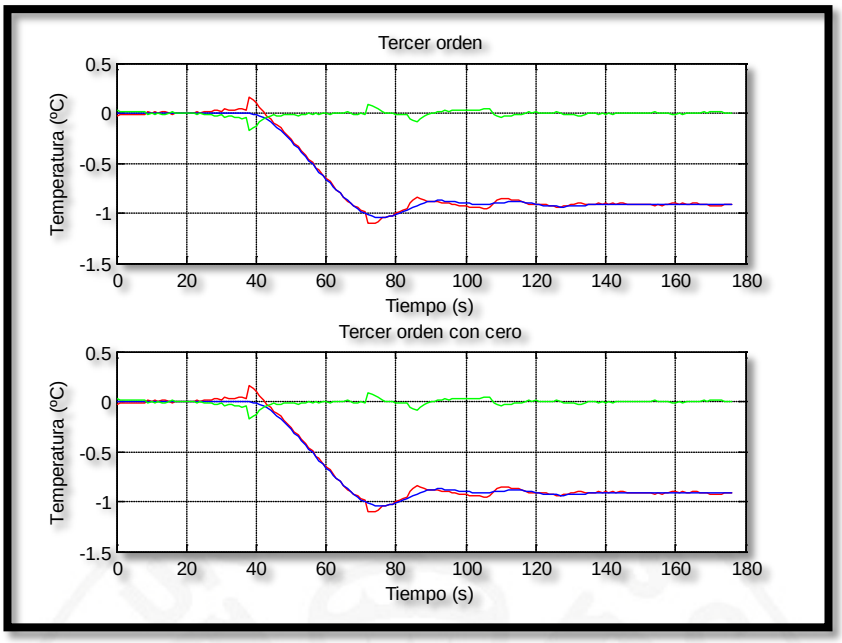


Figura 4.2.6. Ajustes para una estructura propuesta de función de transferencia de tercer orden y de tercer orden con cero. En rojo, la respuesta del ensayo, en azul la respuesta simulada y en verde el error cometido en el ajuste.

Del estudio de los resultados de los distintos ajustes es posible extraer algunas conclusiones:

- Se observa que los ajustes para funciones de transferencia con cero son más exactos, puesto que reproducen mejor la parte inicial de la respuesta a escalón.

- De entre las respuestas de funciones de transferencia con cero, la que mejor reproduce el comportamiento de la temperatura en el ensayo es la del segundo orden con cero, por lo que se hace innecesario probar modelos de órdenes superiores al tercero. Además, el valor del parámetro que estima el error cometido en el ajuste es mayor para el tercer orden que para el segundo.

- Las respuestas de tercer orden y de tercer orden con cero son casi idénticas, y el programa de ajuste tendía a anular (haciendo cada

vez más pequeño) el parámetro que aportaba el cero a la función de transferencia. De esto es posible concluir que la respuesta no mejora con la adición de un cero.

Es importante tener en cuenta que utilizar la respuesta temporal como criterio de elección para la estructura de un modelo es engañoso, puesto que cada respuesta temporal está sometida a factores de ruido y otras distorsiones distintas en cada momento. El mejor criterio para esta elección sería la respuesta en frecuencia (diagrama de Black en lazo abierto).

Tomando como referencia el modelo más complejo (en este caso el segundo orden con cero) y previéndose que el control a utilizar en este sistema será un PI (puesto que la velocidad de respuesta no es crucial en este sistema como sí lo es la precisión), se estima que el retraso de fase que introducirá el control será de aproximadamente 10 grados (valor orientativo que se suele utilizar en el diseño de este tipo de reguladores). Por tanto, y para un margen de fase típico de 50^o, la fase del diagrama de Black que resulta de gran interés será -120^o.

De esta forma, habrá que comprobar cuál es el modelo más sencillo posible, cuyo diagrama de Black coincide con el del modelo más complejo tomado de referencia (tercer orden) hasta la fase de -120^o, siendo en ese el modelo más adecuado.

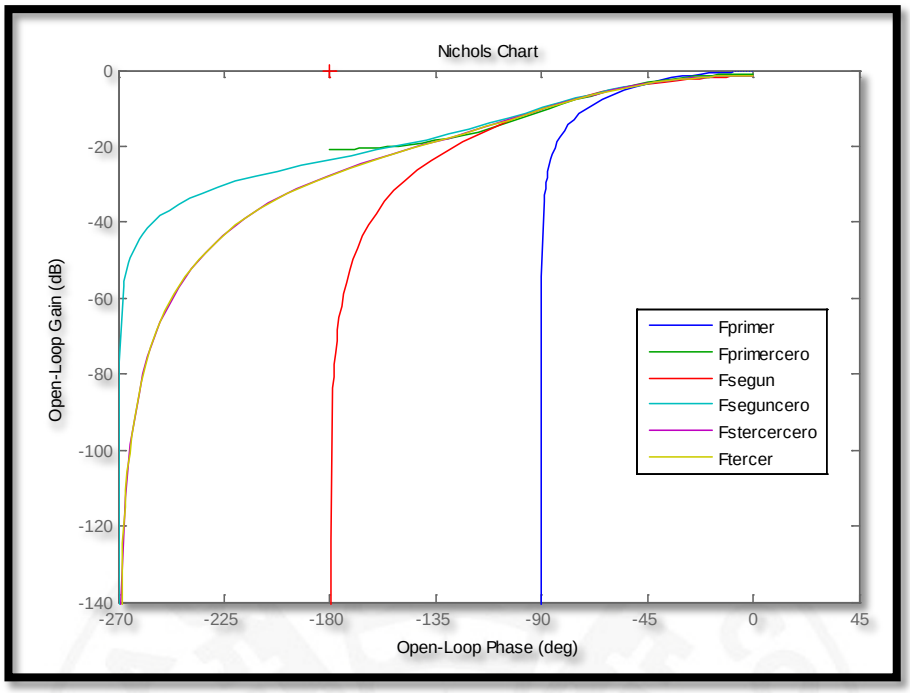


Figura 4.2.7. Comparativa de los diagramas de Black de las distintas funciones de transferencia propuestas.

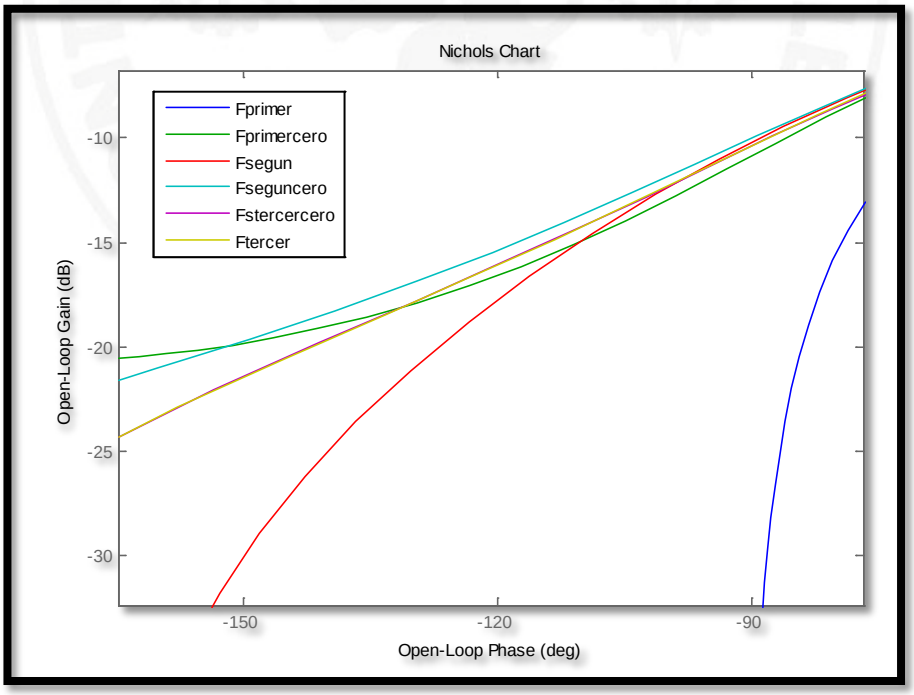


Figura 4.2.8. Vista aumentada a la fase de -120º de la comparativa de los diagramas de Black de las distintas funciones de transferencia propuestas.

Como puede observarse en la Figura 4.2.7 y en la Figura 4.2.8, los las respuestas en frecuencia de los sistemas propuestos coinciden siempre hasta cierto punto. La primera respuesta en desviarse alrededor de los -120º es la del sistema de segundo orden, no obstante, esto ocurre muy cerca de esta fase y, puesto que se escogió un valor orientativo, se opta por elegir el siguiente sistema (en orden de complejidad creciente) que se desvía: el de segundo orden con cero.

Por tanto, y puesto que tanto la respuesta temporal como la respuesta en frecuencia del sistema son las más adecuadas, se opta por el modelo de segundo orden con cero.

La función de transferencia propuesta fue:

$$P = \frac{(\theta_1 \cdot \theta_4)s + \theta_1}{(\theta_2 \cdot \theta_3)s^2 + (\theta_2 + \theta_3)s + 1}$$

Donde θ_i son los parámetros a ajustar mediante mínimos cuadrados. Los valores óptimos obtenidos para estos parámetros fueron:

$$\theta_1 = 0.85841$$

$$\theta_2 = 53.791$$

$$\theta_3 = 3.4726$$

$$\theta_4 = -4.4611$$

Obteniéndose la siguiente función de transferencia:

$$P(s) = \frac{-3.829s + 0.8584}{186.8s^2 + 57.26s + 1} = \frac{-0.0205s + 0.004595}{s^2 + 0.3066s + 0.005353}$$

Y en formato de ceros, polos y ganancias y de constantes de tiempo:

$$P(s) = \frac{-0.020501(s - 0.2242)}{(s + 0.288)(s + 0.01859)} = \frac{0.8584(1 - 4.46s)}{(1 + 3.472s)(1 + 53.79s)}$$

Las características de la planta son:

- Ganancia estática: $P(0) = 0.85841$
- Polos en - 0.288 y - 0.01859
- Cero en 0.2242
- Constantes de tiempo de τ_1 = 3.472 s, τ_2 = 53.79 s y T = - 4.46 s

4.2.2 VALIDACIÓN DEL MODELO

A continuación se muestran dos gráficas (Figura 4.2.9 y Figura 4.2.11) que comparan la respuesta del sistema elegido frente a la del ensayo en condiciones distintas a las utilizadas para la identificación. Concretamente, se varía en el ensayo la constante proporcional del control (Figura 4.2.9) y el punto de operación (Figura 4.2.11).

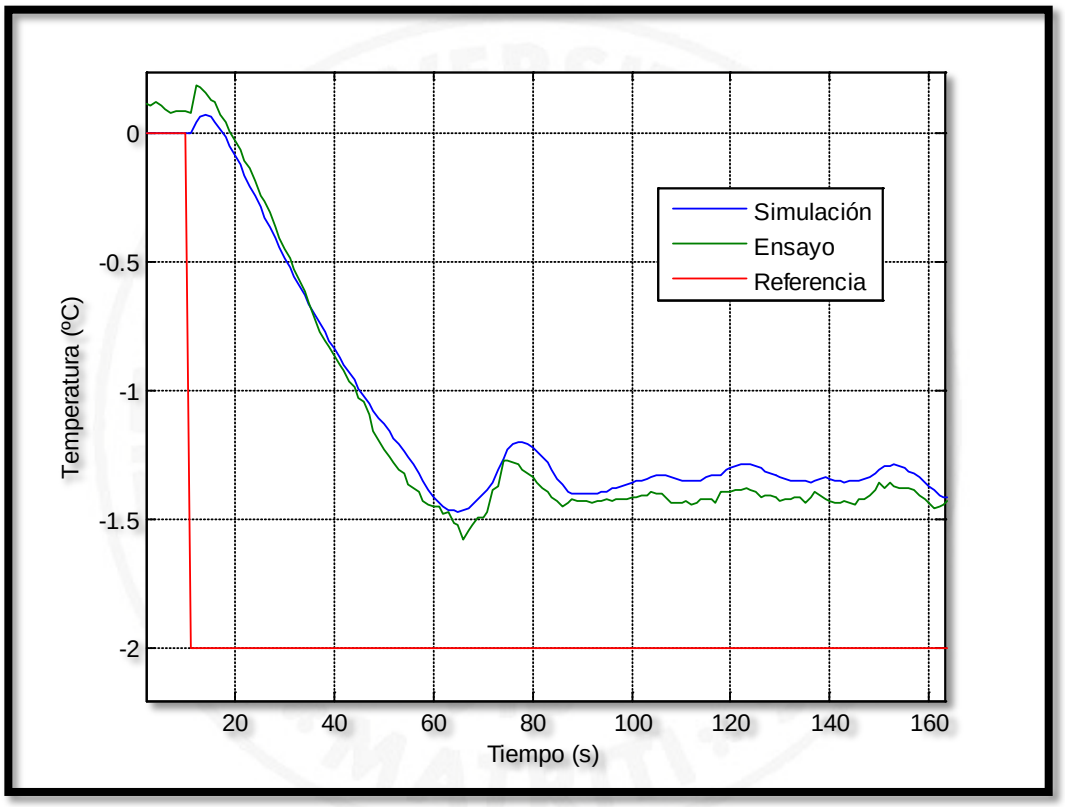


Figura 4.2.9. Comparativa de las respuestas del sistema simulado y del ensayo real ante un escalón en la referencia de 25 a 23ºC con Kp=20.

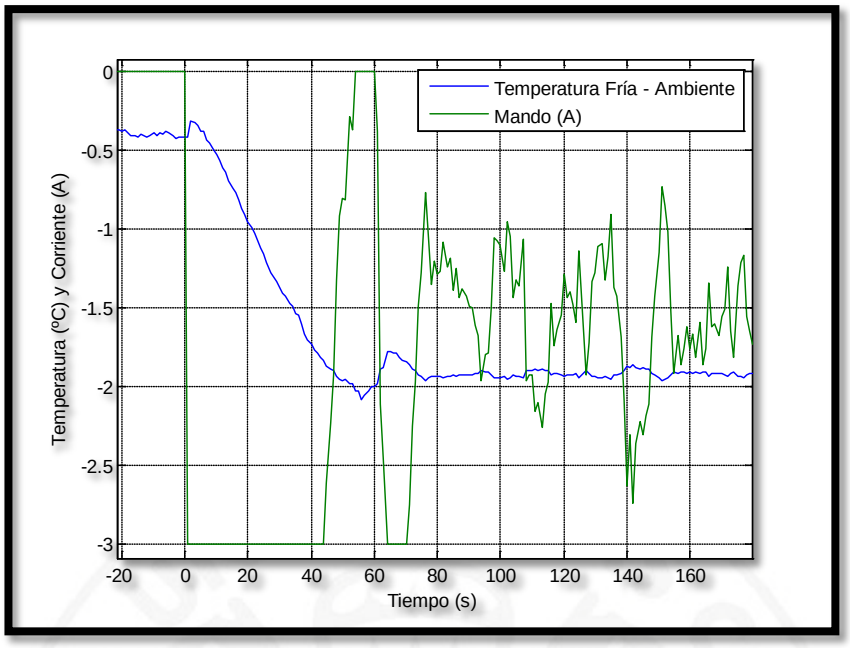


Figura 4.2.10. Gráfica del mando aplicado al sistema en un ensayo en lazo cerrado con control proporcional Kp=20 y con saturación entre 0 y -3A.Escalón de 25 a 23ºC. Se superpone en azul la gráfica de la diferencia de temperatura entre la cara fría de la ventana y el ambiente.

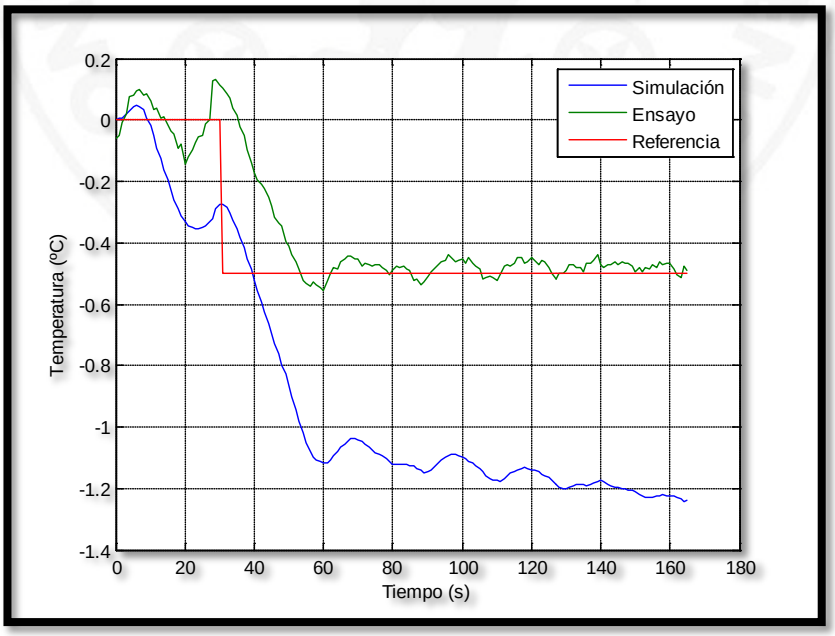


Figura 4.2.11. Comparativa de las respuestas del sistema simulado y del ensayo real ante un escalón en la referencia de 23 a 22.5ºC con Kp=15.

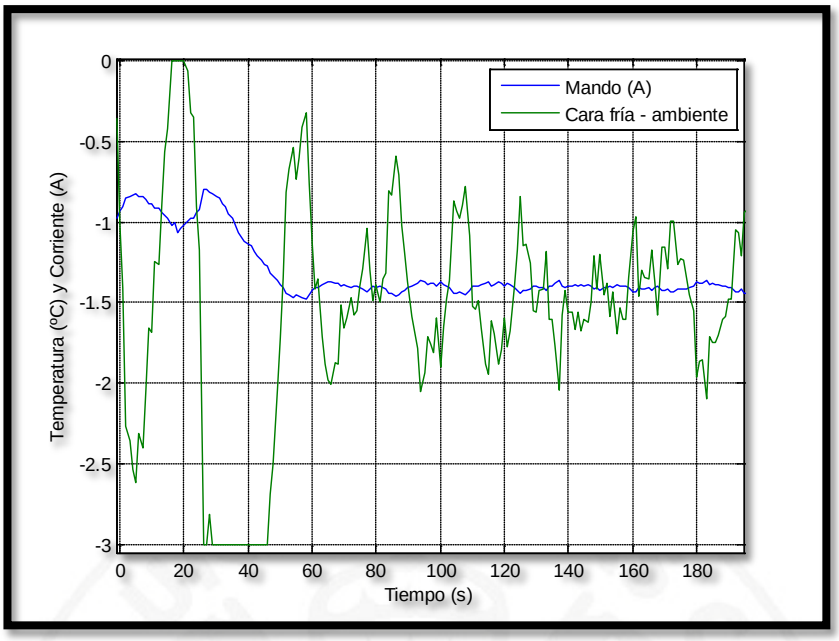


Figura 4.2.12. Gráfica del mando aplicado al sistema en un ensayo en lazo cerrado con control proporcional Kp=15 y con saturación entre 0 y -3A.Escalón de 23 a 22.5ºC. Se superpone en azul la gráfica de la diferencia de temperatura entre la cara fría de la ventana y el ambiente.

Como puede observarse en la Figura 4.2.9, el modelo se ajusta bien ante cambios en el control. No obstante, el ajuste no es suficientemente bueno para un punto de trabajo diferente (Figura 4.2.11) al de la obtención del modelo.

Se realizaron pruebas con nuevos modelos con resultado idéntico: **al cambiar el punto de trabajo, el modelo no era válido.**

Este fenómeno se debe a la fuerte no linealidad que presenta el sistema debida al problema de disipación de calor ya comentado. El hecho de que no se disipe bien el calor implica que hay que aplicar un mando mayor para mantener la temperatura de la cara fría. En un sistema lineal como es la función de transferencia, esta mayor aplicación de mando supondría un

enfriamiento mayor de la cara fría, lo cual no ocurre en el sistema real, como se observa en la Figura 4.2.11.

4.3 CONCLUSIÓN

El modelo que se utilizará como planta para el diseño del control será:

$$P(s) = \frac{0.8584(1 - 4.46s)}{(1 + 3.472s)(1 + 53.79s)}$$

Habrá que tener en cuenta que el uso de este modelo tiene la limitación de sólo ser válido para enfriamiento de unos 2ºC sobre una temperatura ambiente de unos 25ºC, por lo que el diseño del control que se realizará en el siguiente capítulo podría no responder de la manera esperada en situaciones concretas.

Capítulo 5 CONTROL DEL SISTEMA

5.1 DISEÑO

Para el sistema que se pretende controlar, el regulador más apropiado es un control proporcional-integral (PI), cuya principal característica es el aporte de precisión al sistema controlado. Se prescinde en el regulador de una acción diferencial debido a que no es crucial la rapidez en este sistema y la rapidez aportada no compensaría el aumento de ruido en el sistema que podría ocasionar su implantación. Además, el mando satura rápidamente en los transitorios de todos los ensayos realizados, por lo que no tiene sentido exigir más rapidez al sistema que se pretende controlar.

El diseño se realiza a partir de la respuesta en frecuencia del modelo obtenido en el Capítulo 4.

El diseño del control comienza definiendo las especificaciones del mismo que son las siguientes:

- Se desea una respuesta con error nulo en el seguimiento a la referencia, por este motivo se requiere de acción integral que anule el error.

- La rapidez del sistema observada en los ensayos en lazo abierto es correcta, por lo que se decide prescindir de acción diferencial para eliminar la amplificación del ruido. Sin embargo, se diseñará el control PI tratando de maximizar su rapidez.

- Se especificará inicialmente un margen de fase de 50º para asegurar un amortiguamiento adecuado. Este margen (o, en caso de ser necesario, el margen de ganancia) se aumentará si es conveniente.
- Se especificará un retraso de fase de 10º para el control. Este es un valor típico de retraso de fase para controles PI, pero se prevé su variación entre 5 y 15º caso de ser necesario.

La función de transferencia de un control PI es la siguiente:

$$C(s) = K_p \frac{1 + T_i s}{T_i s} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S}\right)$$

Bajo las especificaciones anteriores, se diseñaron sucesivos reguladores PI con la especificación de distintos márgenes de fase. Para ello, se realizó un programa en *Matlab* que calcula lo parámetros de un control PI dado un retraso de fase del control y un margen de fase: `Diseno_PI.m`, cuyo código puede encontrarse en la Parte IV de este documento. En la Tabla 5.1.1 se muestran los valores de los parámetros para los distintos controles PI diseñados:

Tabla 5.1.1. Parámetros de los diferentes controles PI diseñados.

Φ_M (º)	Kp	Ti (s)	K_I
50	5.799	57.635	0.10062
55	5.2282	66.408	0.07873
60	4.7681	74.038	0.064401

En la Tabla 5.1.1 puede verse cómo el control con margen de fase de 50º tiene una mayor K_I que el resto de los diseños, por lo que se considerará este control de máxima precisión.

En la Figura 5.1.1 y la

Tabla 5.1.2 se muestran las respuestas temporales y sus principales características obtenidas para 3 diseños de reguladores con márgenes de fase de 50, 55 y 60º.

Tabla 5.1.2. Principales características de las respuestas temporales del modelo con los distintos controles PI diseñados.

Φ_M (º)	t_a(s)	t_p(s)	$t_{s2\%}$(s)	e_s	Mp%
50	18.35	25.4	53.9	0	16.1
55	21.23	27.6	63.9	0	8.11
60	25.5	30.1	97.6	0	2.38

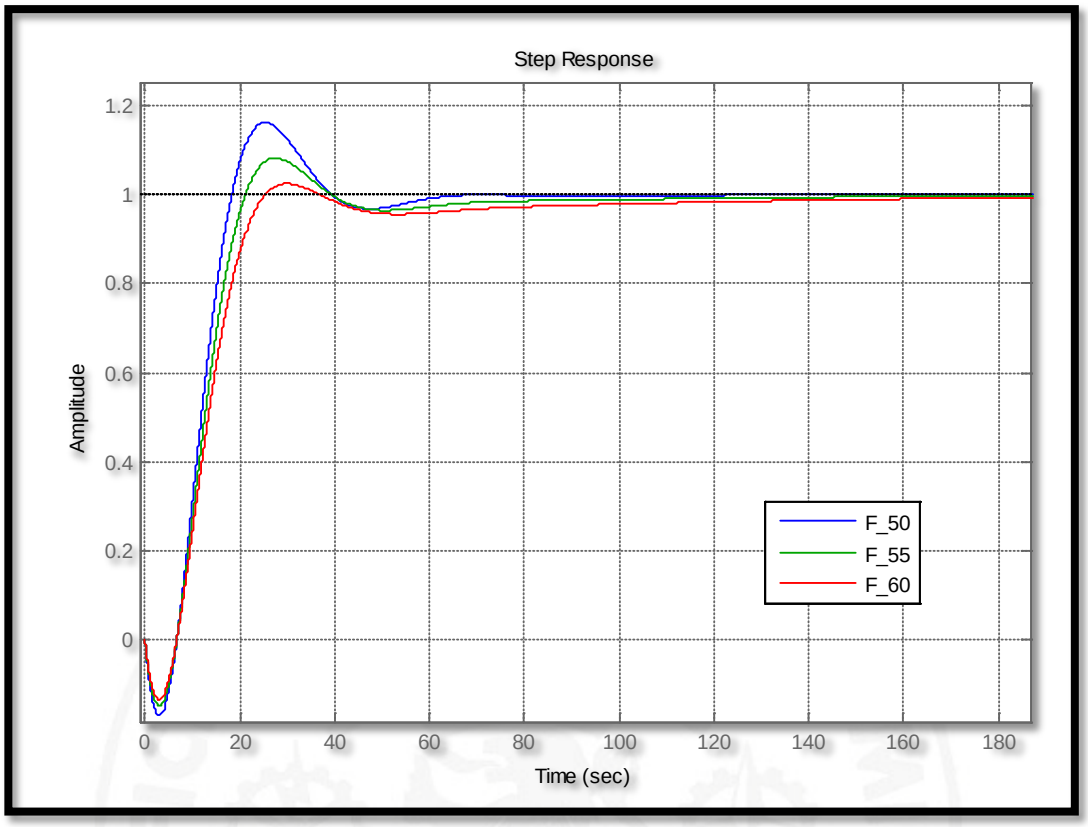


Figura 5.1.1. Comparativa de las respuestas temporales a escalón en la referencia del modelo con control PI con márgenes de fase de 50, 55 y 60º.

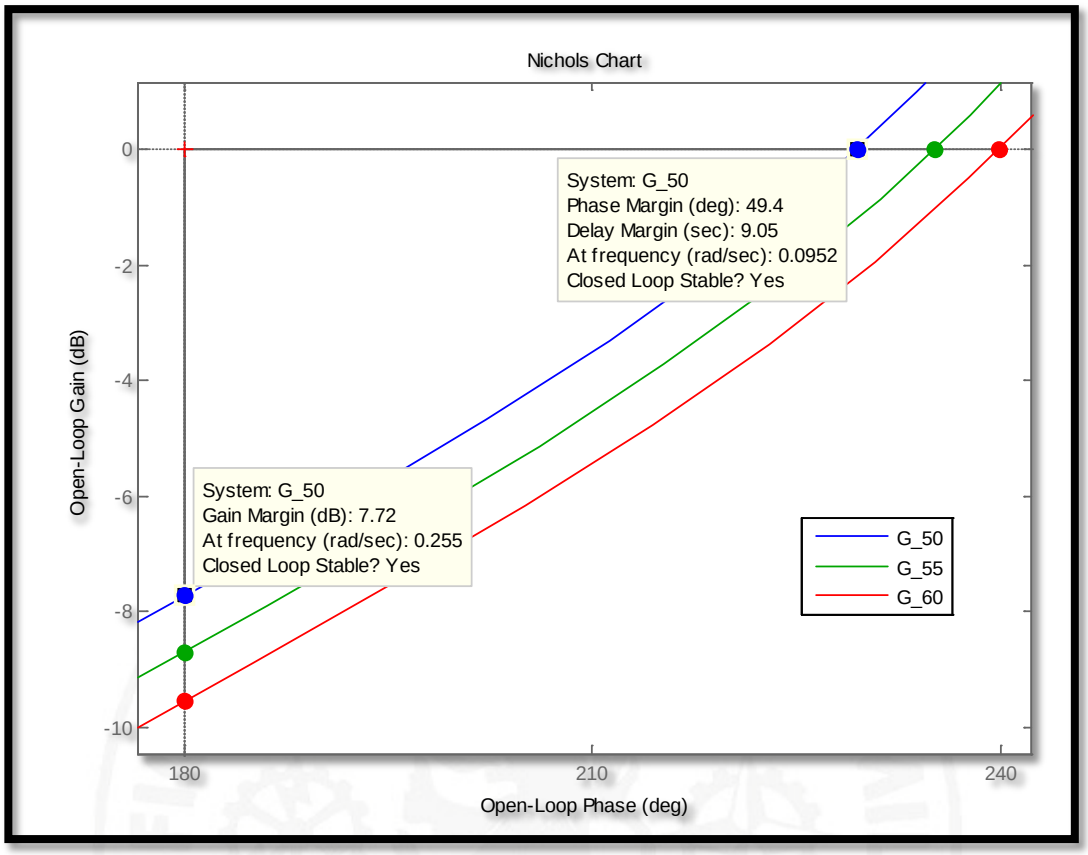


Figura 5.1.2. Comparativa de las respuestas en frecuencia (diagrama de Black) de lazo abierto para los tres controles PI diseñados.

Como se puede observar en la Figura 5.1.2, el sistema menos amortiguado es el diseñado con menor margen de fase. Aun así, éste se encuentra dentro de unos márgenes aceptables tanto de ganancia como de fase, por lo que, en relación a la respuesta en frecuencia los tres controles son válidos y se utilizará la respuesta temporal para elegir entre ellos el que más conviene implantar en el sistema.

5.2 IMPLANTACIÓN

Teniendo en cuenta las características temporales y de frecuencia estudiadas en el apartado anterior, se decide finalmente implantar el control PI con margen de fase de 50º. La función de transferencia del regulador resultante es:

$$C(s) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s}\right) = 5.7990\left(1 + \frac{1}{57.6350 \cdot s}\right) = \frac{5.799 \cdot s + 0.1006}{s}$$

Adicionalmente hay que considerar que, debido a los problemas de disipación ya comentados en apartados anteriores, el sistema no trabaja correctamente con mandos superiores a 2.5A mantenidos, por lo que se elige limitar el mando en ensayos entre 0 y -3A. Esto implica que también sea necesario limitarlo en el diagrama de simulación.

Como puede verse en la Parte III Manual de usuario, el bloque de control de *Labview* utilizado para los ensayos incluye un sistema *Anti-windup*. Debido a que el mando satura con frecuencia en los ensayos, se cree conveniente también incluir un sistema similar para las simulaciones. El sistema *Anti-windup* incluido en el esquema de *Simulink* no tiene un funcionamiento exacto al que utiliza *Labview*, pero los resultados son casi idénticos, como se puede observar a continuación.

El esquema resultante de *Simulink* utilizado para simular el efecto del control es el mostrado en la Figura 5.2.1.

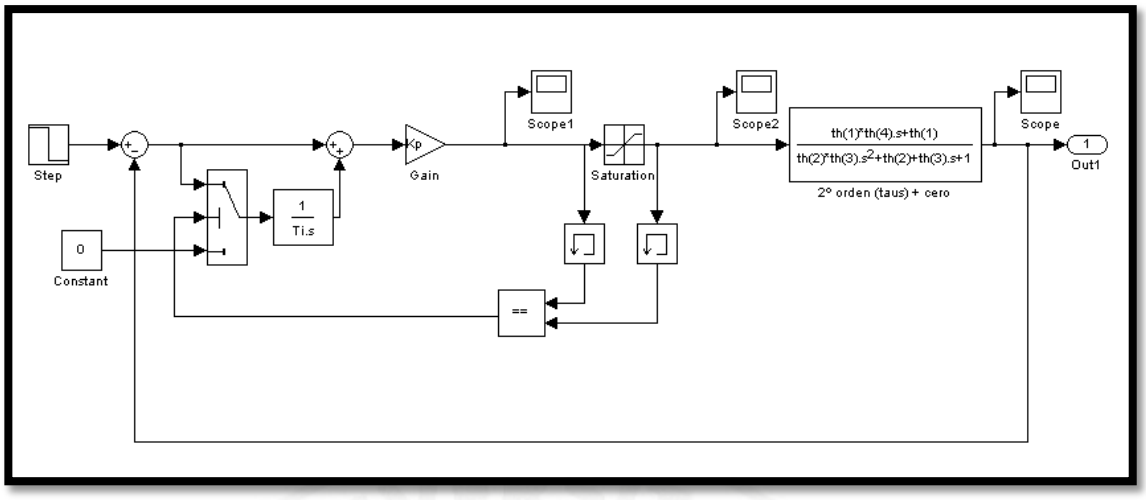


Figura 5.2.1. Esquema de Simulink para simular respuestas del modelo a diferentes escalones en la referencia. Incluye sistema Anti-windup y saturación del mando.

Se realizaron numerosos ensayos con el control implantado. En la Figura 5.2.2 se muestra la comparativa entre el ensayo y la simulación para un escalón en la referencia de 25 a 24.5ºC. En la se muestra la misma comparativa pero desactivando el sistema *Anti-windup* de la simulación.

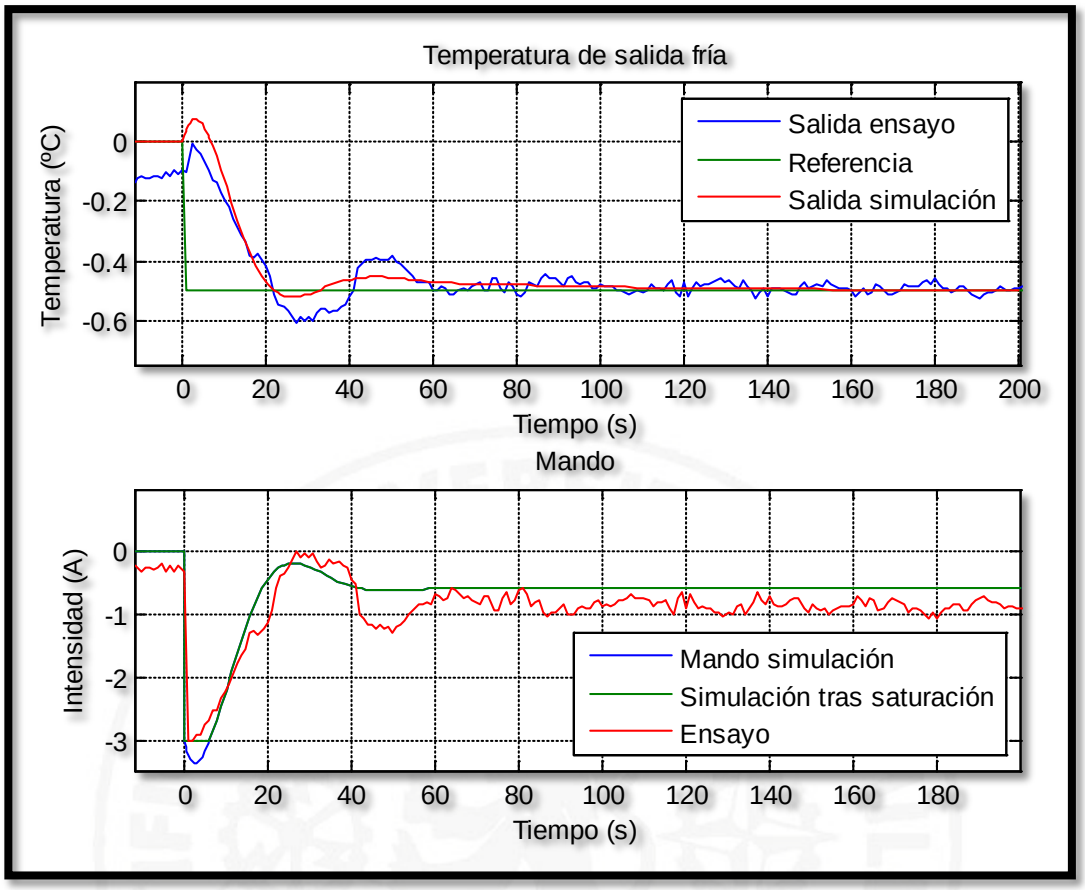


Figura 5.2.2. Comparativa de respuestas temporales de salida y mando entre ensayo y simulación con control PI para un escalón en la referencia de 25º a 24.5ºC. Anti-windup activado.

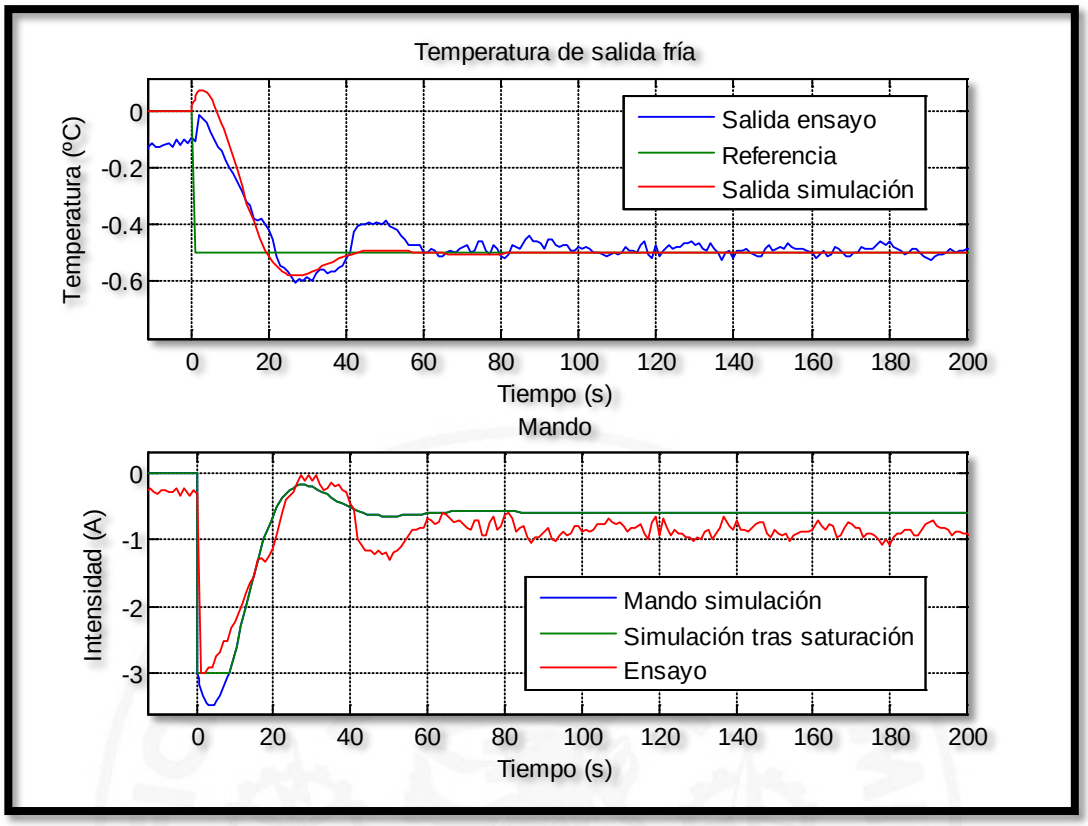


Figura 5.2.3. Comparativa de respuestas temporales de salida y mando entre ensayo y simulación con control PI para un escalón en la referencia de 25º a 24.5ºC. Anti-windup desactivado sólo en simulación.

Como puede observarse, en este ensayo el sistema *Anti-windup* tiene poca incidencia, las respuestas son bastante similares, por ello se realizó la prueba con un ensayo para un escalón en la referencia de magnitud 2 (de 26.5 a 24.5Cº) de forma que el mando saturase durante más tiempo. Al comparar la Figura 5.2.4 con la Figura 5.2.5 es posible observar cómo el efecto del sistema *Anti-windup* es apreciable y es necesario que sea tenido en cuenta.

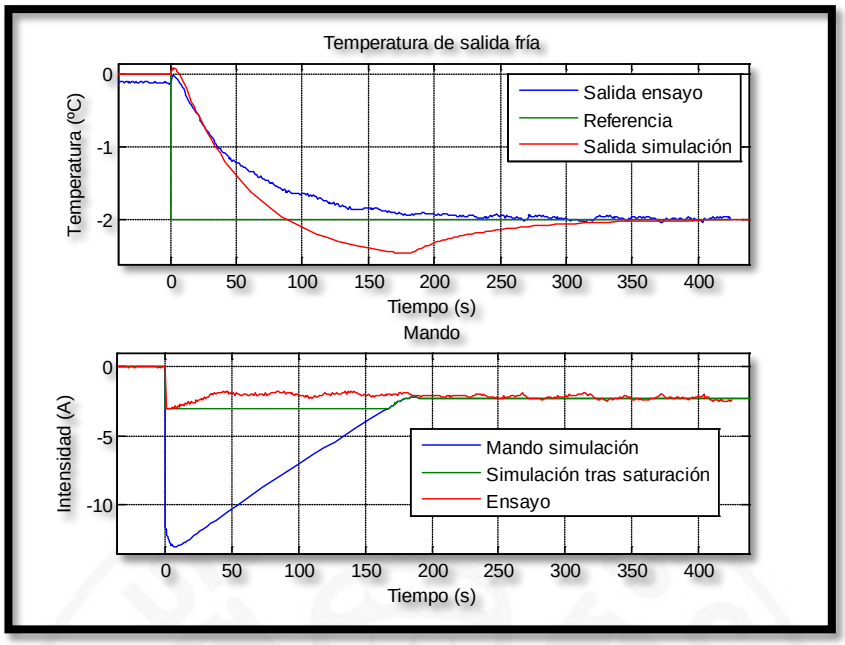


Figura 5.2.4. Comparativa de respuestas temporales de salida y mando entre ensayo y simulación con control PI para un escalón en la referencia de 26.5º a 24.5ºC. Anti-windup desactivado sólo en simulación.

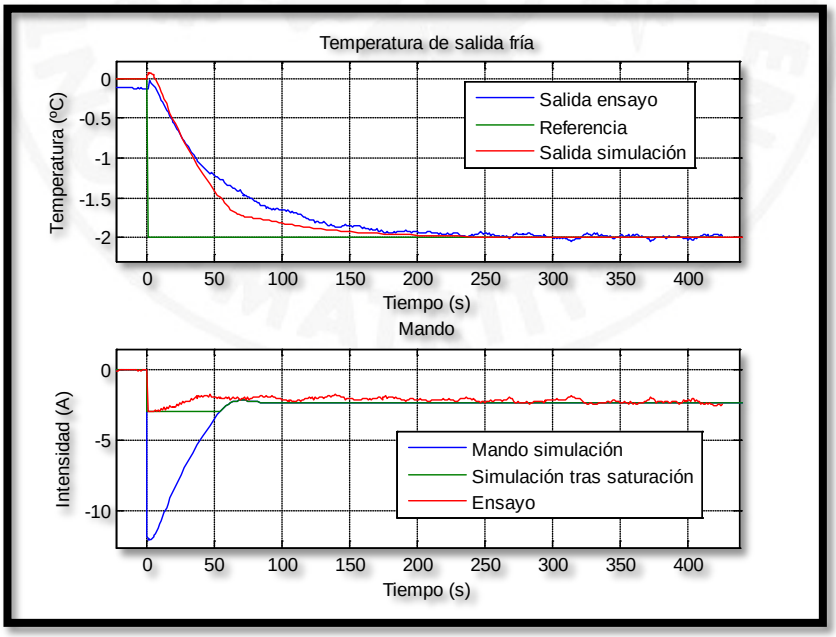


Figura 5.2.5. Comparativa de respuestas temporales de salida y mando entre ensayo y simulación con control PI para un escalón en la referencia de 26.5º a 24.5ºC. Anti-windup activado.

Capítulo 6 RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados a los que se ha llegado en el desarrollo de este proyecto. En los capítulos anteriores ya se han mencionado algunos de ellos, pero para concentrar los resultados obtenidos y facilitar la compresión del proyecto en este capítulo se desarrollan resumidamente.

6.1 MEJORAS REALIZADAS AL PROTOTIPO

El presente proyecto se inició con la intención de superar las limitaciones impuestas por el proyecto previo, las cuales se resumían en los problemas en la disipación de calor de la cara caliente de la ventana, lo cual limitaba la corriente máxima de trabajo a un nivel muy por debajo del nominal de los módulos termoeléctricos utilizados, por lo que el rendimiento se veía seriamente afectado.

Tabla 6.1.1. Comparativa de algunas limitaciones entre los prototipos de ventana termoactiva realizados en 2009 y 2010.

Prototipo	2009	2010
Corriente/célula (A)	0.167	0.167
Reducción de temperatura en cara fría (ºC)	1.2	1.65
Corriente máxima de trabajo/célula (A)	0.33	Entre 0.42 y 0.5

Como se puede observar en la Tabla 6.1.1, se han producido mejoras notables con el rediseño de la ventana termoeléctrica. Se ha conseguido aumentar la corriente máxima de trabajo por celda entre un 27% y un 50% y se ha conseguido una mayor refrigeración para la aplicación de una misma corriente.

Estos datos son esperanzadores, puesto que hacen pensar que se ha trabajado en la línea correcta y que es posible salvar los problemas de rendimiento impuestos por las propias características constructivas del prototipo.

6.2 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA

Para llevar a cabo la identificación de un modelo que se ajustase lo más posible al sistema que se pretendía controlar, se realizó una identificación por caja negra.

El modelo que mejor ajustó el comportamiento del sistema fue una función de transferencia de segundo orden con cero:

$$P(s) = \frac{0.8584(1 - 4.46s)}{(1 + 3.472s)(1 + 53.79s)}$$

El modelo elegido ajusta el comportamiento del sistema con un error mínimo, como puede observarse en la Figura 6.2.1.

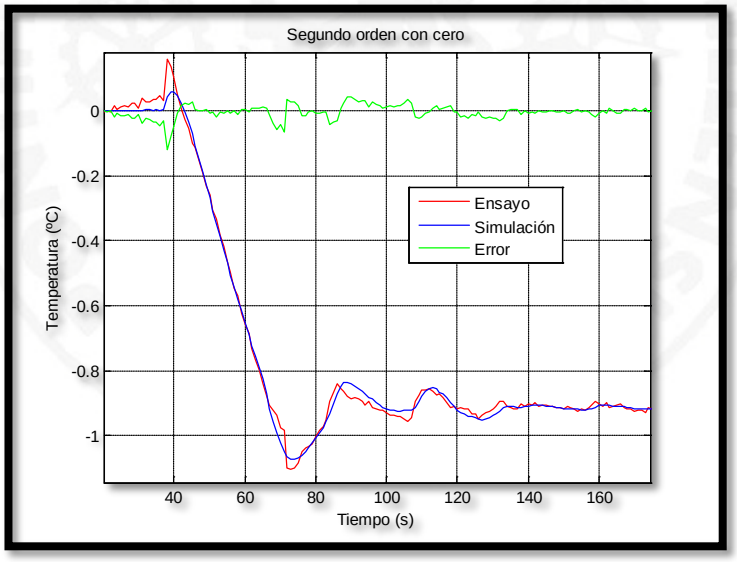


Figura 6.2.1. Comparativa de la respuesta de un ensayo y una simulación con el modelo elegido para un escalón en la referencia de 24 a 23ºC.

El modelo elegido aproxima bien el comportamiento del sistema con una temperatura ambiente cercana a 25ºC y para escalones en la referencia de unos 2ºC. Dependiendo de la temperatura ambiente y de la magnitud del

escalón que se introduzca en la referencia, podrán observarse discrepancias entre el modelo y el sistema real debidas al problema en la disipación de calor que presenta este último y que el modelo no contempla. Fue necesario tener estas limitaciones en cuenta a la hora de utilizar el modelo para la simulación.

6.3 DISEÑO E IMPLANTACIÓN DEL CONTROL

Partiendo de las características propias del sistema que se pretendía controlar, se diseñó un control PI y se impusieron como especificaciones que el sistema fuera lo más rápido posible sin llegar a acercarse a la inestabilidad y que el control tuviera máxima precisión. Bajo esas especificaciones, el control elegido finalmente tiene la siguiente función de transferencia:

$$C(s) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s}\right) = 5.7990\left(1 + \frac{1}{57.6350 \cdot s}\right) = \frac{5.799 \cdot s + 0.1006}{s}$$

Para validar el control diseñado y el modelo a partir del cual se obtuvo el control PI hay que comparar la respuesta en ensayo con una simulación. Esta comparación se muestra en la Figura 6.3.1.

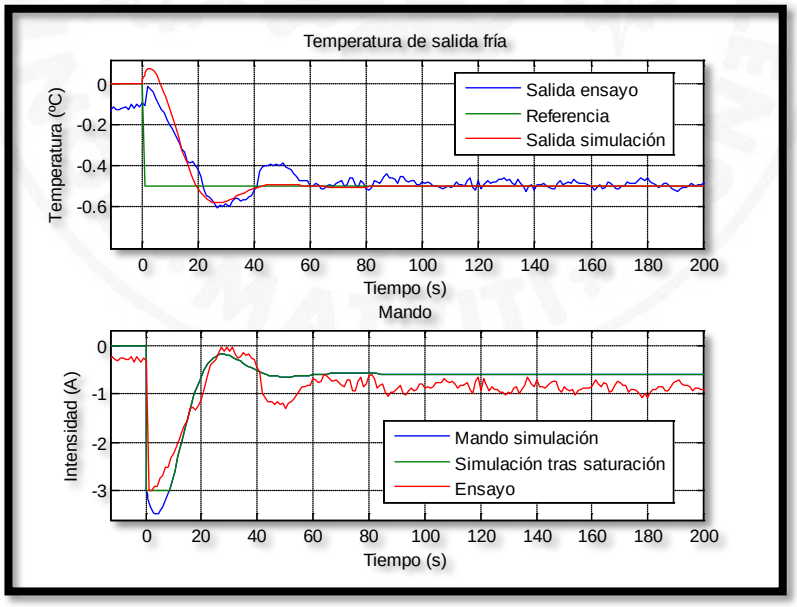


Figura 6.3.1. Comparativa entre ensayo y simulación con el control PI implantado.

Capítulo 7 CONCLUSIONES

En el presente proyecto se ha diseñado un control de la temperatura del flujo de aire del prototipo de ventana termoactiva, que consiste en la regulación de la alimentación del módulo termoeléctrico para que se genere un flujo de aire climatizado en la cara de la ventana correspondiente al habitáculo que se desea acondicionar.

Si se tienen en cuenta los objetivos que se han propuesto al comienzo del proyecto, apartado 1.3, se puede afirmar que se han cumplido todos.

A continuación se va a revisar cada uno de los objetivos propuestos justificando su cumplimiento.

1. **Puesta en marcha del prototipo**

   Como se ha detallado a lo largo del Capítulo 3, se realizó la construcción de un nuevo prototipo de ventana termoactiva que pretendía superar las limitaciones impuestas por la anterior. Tras su construcción, se llevaron a cabo todas las tareas necesarias para hacer posible el manejo de las variables del prototipo y las mediciones desde un PC.

2. **Identificación del sistema.**

   Para cumplir el objetivo final del proyecto, era necesario previamente obtener un modelo del sistema.

   El modelado del sistema se ha llevado a cabo por el método del modelado por caja negra, determinándose con ello un modelo que refleja la realidad del sistema a controlar.

Las fases, criterios y limitaciones en la identificación del sistema se detallan a lo largo del Capítulo 4 y se resumen en el punto 6.2.

3. **Diseño del control.**

Se diseñó un regulador PI que permite una respuesta precisa y rápida en el seguimiento de la referencia marcada por un usuario.

4. **Implantación del control sobre el prototipo.**

Como se comentó a lo largo del apartado 6.3, el control diseñado se implantó con éxito, consiguiendo una respuesta similar a la calculada por simulación.

A raíz de lo anterior puede afirmarse que el proyecto ha sido exitoso en lo que se refiere al cumplimiento de las metas establecidas.

Capítulo 8 FUTUROS DESARROLLOS

Tras la conclusión de este proyecto, se hace evidente que sigue teniendo una gran trascendencia mejorar la capacidad de disipación de calor del prototipo, lo cual ayudaría a trasladar el salto térmico producido entre las caras de la ventana hacia donde se desee, es decir, si se consiguiese reducir la temperatura del lado caliente de la ventana lo suficiente (acercándolo todo lo posible a la temperatura ambiente), al aplicar la misma corriente se haría posible un enfriamiento mayor de la cara fría. No sólo eso, sino que, si fuera posible disipar el calor generado en la cara caliente, se podría aumentar la corriente máxima de trabajo, por lo que se trabajaría más cerca del punto de trabajo nominal de las celdas (donde son más eficientes) y se aumentaría radicalmente el rendimiento del sistema.

Puesto que, como se ha comprobado en este proyecto, el control de temperatura diseñado es efectivo, parece claro entonces que los futuros desarrollos a realizar sobre el prototipo deberán estar encaminados a la mejora constructiva del mismo para facilitar el intercambio de calor entre los módulos Peltier y el aire que atraviesa la ventana.

A continuación se nombran y describen brevemente dos puntos concretos que deberían tenerse en cuenta si se continúa la línea de desarrollo de climatización mediante ventanas termoactivas:

I. Deberían estudiarse mejoras constructivas en el prototipo que faciliten el intercambio de calor entre los módulos termoeléctricos y el aire que los atraviesa.

Podría mejorarse mecánicamente el prototipo si se ensanchasen los carriles reservados a albergar las células Peltier y al paso de aire, pues sería posible incluir disipadores con mayor superficie a la vez que se podría bombear un mayor flujo de aire por su interior.

Otra posible solución es dividir cada columna de intercambio de calor en dos, de forma que, para la primera mitad, se bombearía calor, éste sería calentado hasta llegar a media altura de la ventana, y se desviaría a una columna sin células, que condujese el aire al exterior; para la segunda mitad de la columna, el aire realizaría el mismo recorrido a la inversa, es decir, se inyectaría por abajo en una columna sin intercambio de calor y, a media altura, se desviaría a una con módulos termoeléctricos hasta ser expulsado.

Con esta solución se consigue que el aire que se utiliza para disipar calor en el lado caliente, incremente mucho menos su temperatura y, por tanto, sea mucho más efectivo al evacuar calor de los disipadores.

II. Para superar las limitaciones impuestas para el modelo obtenido mediante caja negra, se sugiere profundizar en el modelado basado en principios físicos de forma que se consiga finalmente obtener un modelo no lineal que se ajuste a los problemas de disipación del sistema real.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Calvo Romero, D. *Climatización mediante células Peltier*. 2007. Fuente: www.iit.upcomillas/pfc

[2] Herranz Pindado, R. Climatización mediante células Peltier. 2008. Fuente: www.iit.upcomillas/pfc

[3] López García, L. *Climatización mediante células Peltier*. 2009. Fuente: www.iit.upcomillas/pfc

[4] National Instruments. *PID Control Toolset User Manual*. 2001. Fuente: www.ni.com

[5] Arenas Alonso, A.; Palacios, R.; Rodriguez Pecharoman, R.; Pagola, Luis. *Full-size Prototype Of Active Thermal Windows Based On Thermoelectricity*.

[6] Palacios, R.; Arenas Alonso, A.; Vázquez, J.;Pagola de las Heras, F.L, Pecharromán, R.R. *Caracterización experimental de un Paramento Transparente Activo Termoeléctrico (PTA)*. Climamed 2006. Congrès Méditerranéen des Climaticiens. Lyon (France). 20-21 November 2006. Fuente: www.iit.upcomillas.es/docs/07RPH01.pdf

[7] Villasevil, F. J. *Desarrollo y caracterización de estructuras termoeléctricas constituidos con materiales y geometrías no estándar*. Fuente: Universidad Politécnica de Catalunya.

[8] National Instruments. *Labview tutorial manual*. 1996. Fuente: www.ni.com

Parte II ESTUDIO ECONÓMICO

Capítulo 1 ESTUDIO ECONÓMICO

El objetivo final del proyecto es controlar la temperatura del flujo de aire proporcionado desde la cara correspondiente al interior de un habitáculo mediante un prototipo de ventana termoactiva. El prototipo está destinado a la climatización de salas o habitáculos donde no sea viable la instalación de otros medios de refrigeración/calefacción. Una posible aplicación sería su instalación en edificios históricos en restauración, en los cuales fuera ilegal la instalación de conductos de aire, tuberías o intercambiadores de calor. Otra posible aplicación de este sistema se presentaría en establecimientos que, debido a su actividad o ubicación, tuvieran impedido el uso de bombas de calor por compresión u otros sistemas que pudieran provocar ruido o vibraciones. Además, se podría prever su uso en situaciones de imposibilidad de acceso a la red eléctrica, requerimiento de bajas potencias frigoríficas, etc.

Con respecto a lo comentado anteriormente, la viabilidad del proyecto está justificada, la aplicación de la termoelectricidad desarrollada en este proyecto es una opción disponible a los métodos más frecuentes de refrigeración que son la compresión de vapor, la absorción y la adsorción y los ciclos de gas.

Es necesario mencionar que los sistemas de refrigeración termoeléctricos son, por lo general, mucho menos eficientes que los sistemas por compresión, por lo que la eficiencia energética de la ventana no es elevada. Sin embargo, como se ha comprobado en este proyecto y en la larga línea de investigación que se está llevando a cabo en la Universidad actualmente en torno a esta tecnología, con la mejora de los materiales y

la exploración de nuevos sistemas encaminados a mejorar la disipación de calor, es posible que a medio plazo esta sea la tecnología que sustituya a los sistemas convencionales de climatización.

A modo de apostilla, concluir que el prototipo y el control desarrollados en este proyecto no son viables para su comercialización en este momento, puesto que presentan limitaciones importantes. A pesar de ello, este proyecto es un paso más en el desarrollo y la investigación de una tecnología que podría ser de gran valor en un futuro próximo.

Parte III MANUAL DE USUARIO

Capítulo 1 LABVIEW

Este documento no pretende ser un tutorial para el uso de ningún programa informático, sin embargo, para la elaboración del proyecto ha sido necesario el estudio del funcionamiento del programa *Labview 7.1*. Para profundizar en este tema, se recomienda el documento [8] de la bibliografía de la Parte I.

Por otra parte, es necesario dejar constancia de un cambio concreto que se ha realizado durante este proyecto en los diagramas de *Labview* utilizados en proyectos anteriores para realizar los ensayos de lazo abierto y lazo cerrado sobre el sistema.

Existe un bloque llamado "*DAQmx Clear Task*" (Figura 6.3.1) cuya función es borrar la memoria caché reservada para la escritura de las salidas analógicas (en este proyecto, la salida correspondiente al mando). Hasta ahora, este bloque se encontraba ubicado fuera del bucle infinito en el que se realizan las tareas, con lo cual, la memoria caché nunca llegaba a liberarse y provocaba que, pasado algún tiempo tras el inicio de un ensayo, el programa abortase con un mensaje de error por memoria insuficiente. Este problema se resolvió moviendo el bloque en cuestión al interior del bucle infinito, provocando así que se libere la memoria en cada iteración del mismo, tras su uso.

Figura 6.3.1. Bloque DAQmx Clear Task de Labview 7.1.

Capítulo 2 ESTRUCTURA DEL CONTROL PID

En este capítulo se pretende dar a conocer la estructura interna del bloque de control PID de Labview 7.1, de forma que sea posible entender su funcionamiento y características principales. Además, se detallan algunas observaciones realizadas a lo largo del proyecto acerca del funcionamiento del mismo, cuyo conocimiento puede ser vital a la hora implantar un control PID utilizando este bloque y las cuales no resultan del todo transparentes en los manuales y documentos de ayuda de la herramienta.

2.1 BLOQUE PID

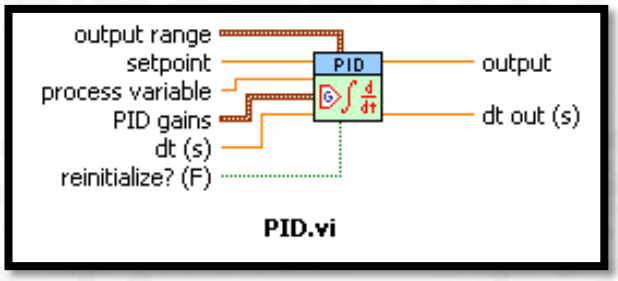


Figura 2.1.1. Bloque PID de Labview. Entradas y salidas.

En la Figura 2.1.1 se muestra el bloque de control PID del *Control Design Toolkit* de *Labview*. A continuación se da una breve descripción de la función de las entradas y salidas de dicho bloque:

- **Output Range:** limita el valor superior e inferior de la señal de salida. *OR* de ahora en adelante.

- **SetPoint:** valor de la referencia. *SP* de ahora en adelante.
- **Process Variable:** valor de la variable medida (salida) que cierra el lazo. *PV* de ahora en adelante.
- **PID gains:** parámetros del control PID, K_c acción proporcional, T_i acción integral (min), T_d acción diferencial (min).
- **dt (s):** intervalo de tiempo, en segundos, en que se muestrea el estado del bloque.
- **Reinitialize:** variable booleana que, si está activa, reinicializa el estado interno del bloque en cada llamada al mismo.
- **Output:** señal de salida del control PID (mando).
- **dt out(s):** actual intervalo de tiempo.

La obtención del mando (*output*) del bloque PID en condiciones de funcionamiento normales se realiza mediante la Ecuación 2.1.

$$u(t) = K_c\left(e + \frac{1}{T_i}\int_0^t e dt + T_d\frac{de}{dt}\right)$$

Ecuación 2.1

OBSERVACIONES GENERALES:

- Si no se especifica un valor para *OR*, éste se fija por defecto a ±100% del fondo escala para permitir el funcionamiento interno del bloque.

- Especificar un valor para *OR* implica que *PV* saturará a esos valores y que, en caso de estarse utilizando control integral, entrará en juego el sistema *anti-Windup*, del que se habla en la página 121.
- La activación de la variable *Reinitialize* supone la anulación de las acciones diferencial e integral, es decir, el control se reduce a un control P independientemente de los valores de T_i y T_d.
- Para anular las acciones diferencial, integral, o ambas, se introducirá valor 0 para T_i, T_d, o ambos respectivamente.

En la Figura 2.1.2 se muestra el esquema interno del bloque PID, el cual contiene dos bloques más con las acciones diferencial e integral respectivamente. Al funcionamiento de ambos sub-bloques se refieren las secciones 2.2 y 2.3.

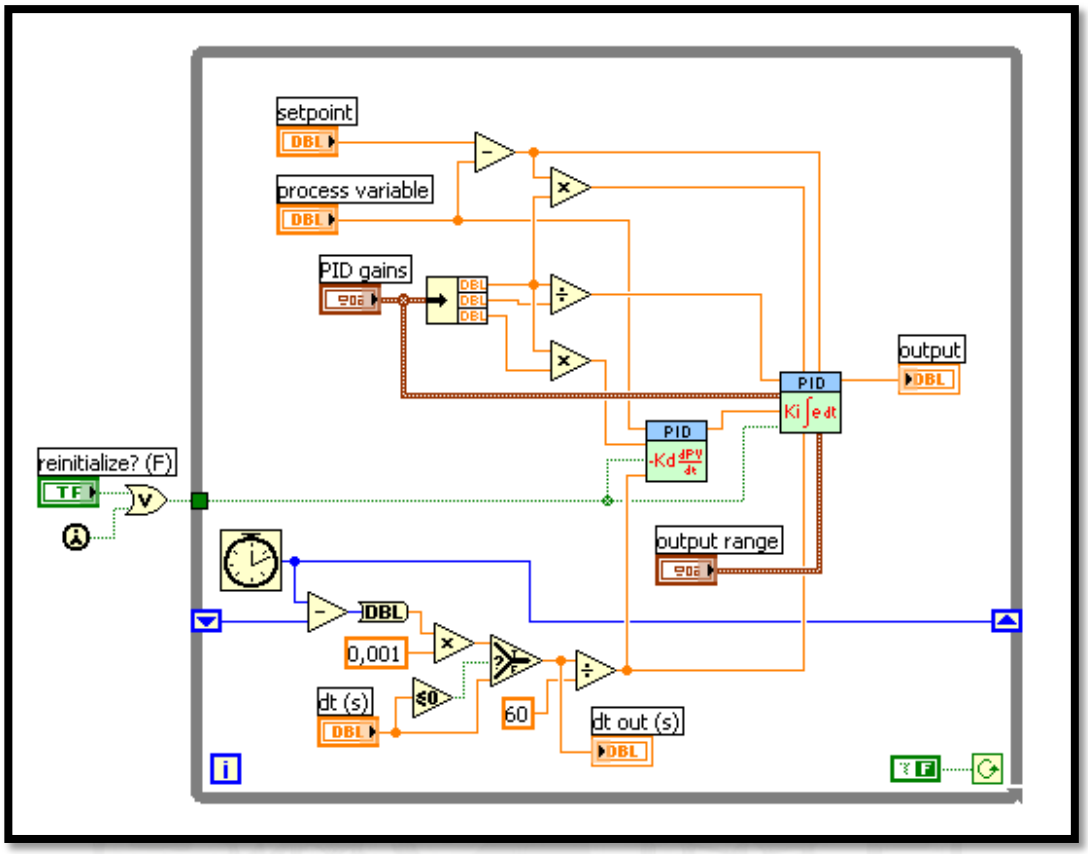


Figura 2.1.2. Esquema interno del bloque PID.

2.2 ACCIÓN DIFERENCIAL

$$u_D(k) = -K_c \frac{T_d}{\Delta_t}\left(PV_f(k) - PV_f(k-1)\right)$$

Ecuación 2.2

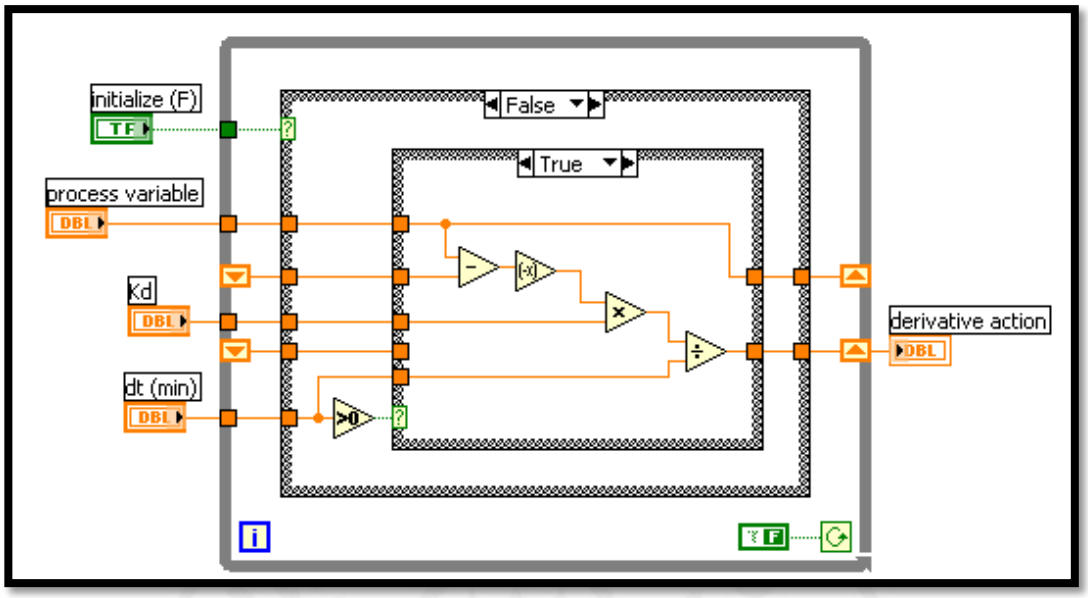


Figura 2.2.1. Funcionamiento de acción diferencial con la entrada initialize inactiva y tiempo de muestreo estrictamente positivo.

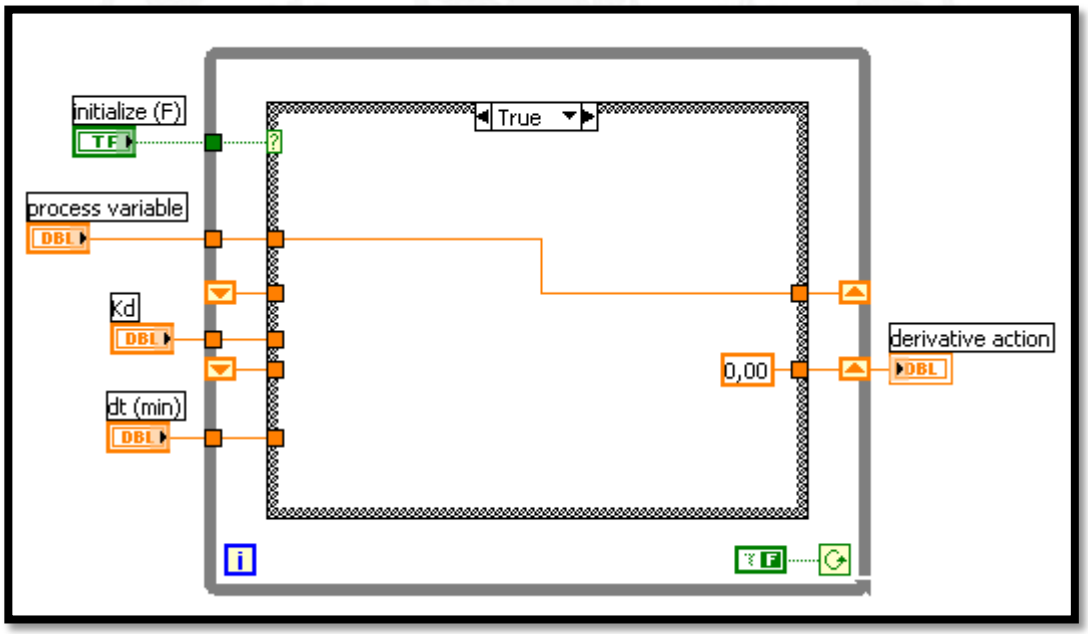


Figura 2.2.2. Funcionamiento de la acción diferencial con entrada initialize activa.

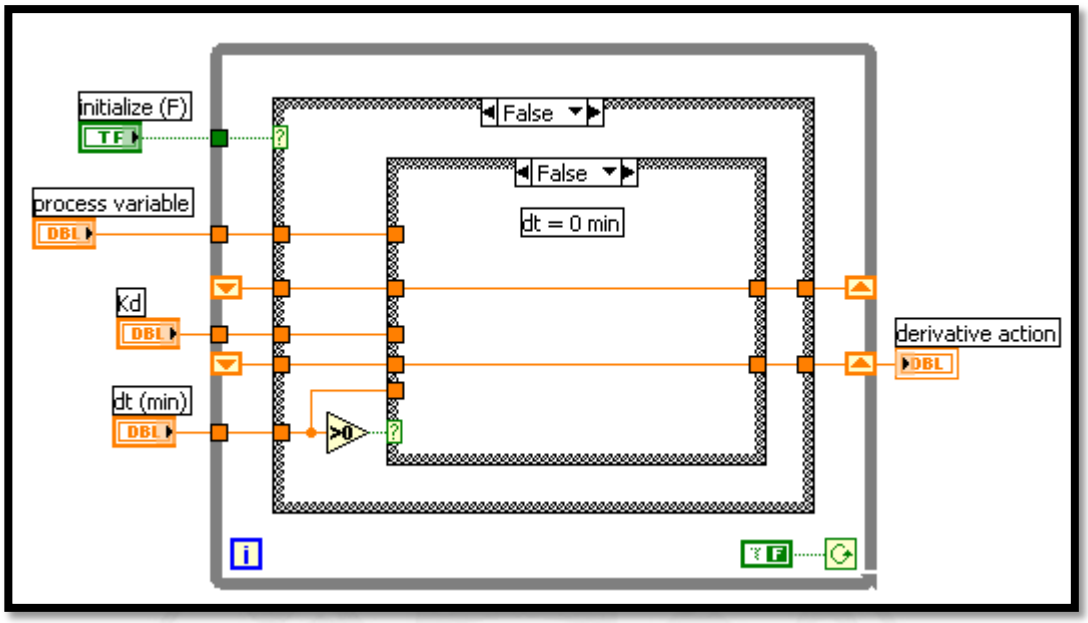


Figura 2.2.3. Funcionamiento de la acción diferencial con entrada initialize inactiva y tiempo de muestreo igual o menor que 0.

OBSERVACIONES:

- La acción diferencial se realiza sobre la variable de medida PV y no sobre el error.
- El bloque no incluye filtrado de ruido.
- Si la variable *initialize* se activa, esto es, si se trata de la primera llamada al bloque o si la variable *reinitialize* se encuentra activa, la acción diferencial no actúa, la salida del bloque de acción diferencial es 0.

2.3 ACCIÓN INTEGRAL

$$u_I(k) = \frac{K_c}{T_i}\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{e(i)+e(i-1)}{2}\right]\Delta t$$

Ecuación 2.3

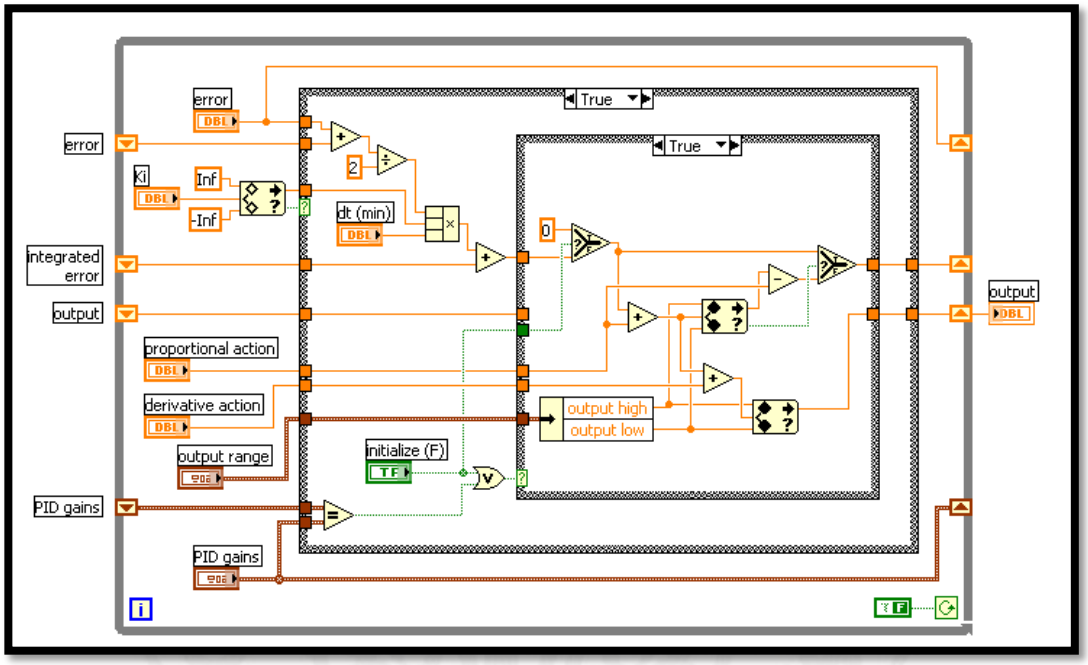


Figura 2.3.1. Funcionamiento de la acción integral con valores no infinitos de K_i ($K_i = K_c/T_i$), sin cambios en los parámetros de ganancias PID o con initialize activa.

Existe un caso particular para cuando $T_i = 0$. Si se especificase dicho valor, se anularía la parte integral del control en lugar de hacerse ésta infinita como se deduce de la fórmula por la que se rige el funcionamiento general de este bloque (Ecuación 2.3). En la Figura 2.3.1 puede verse el comportamiento de este caso concreto.

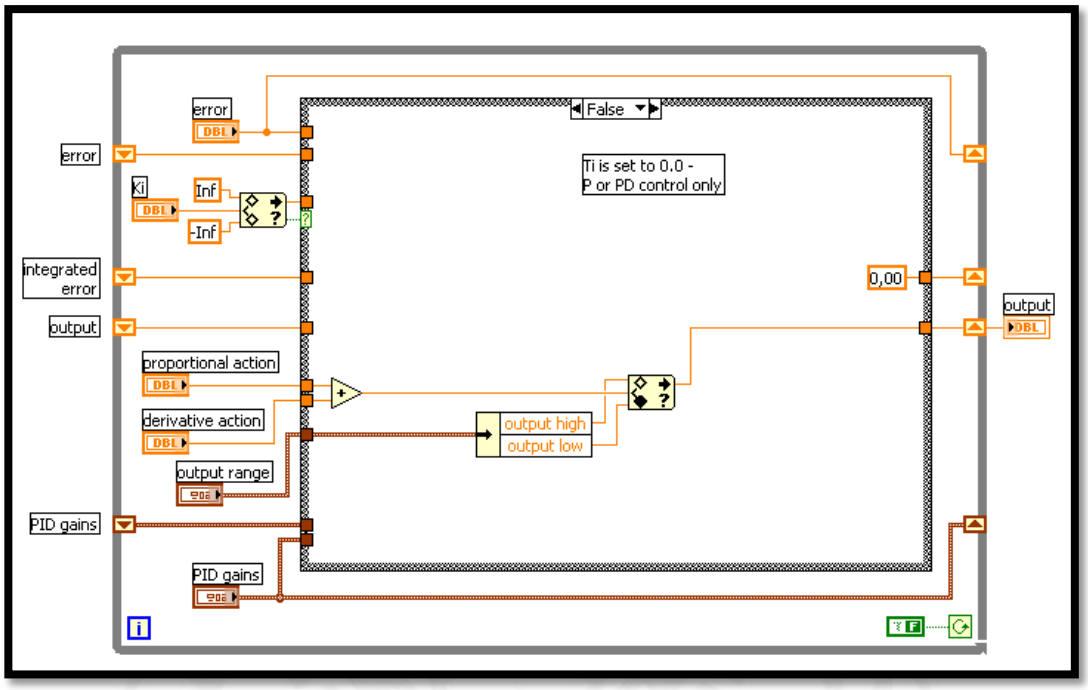


Figura 2.3.2. Funcionamiento de la acción integral con valores infinitos de Ki (Ti = 0).

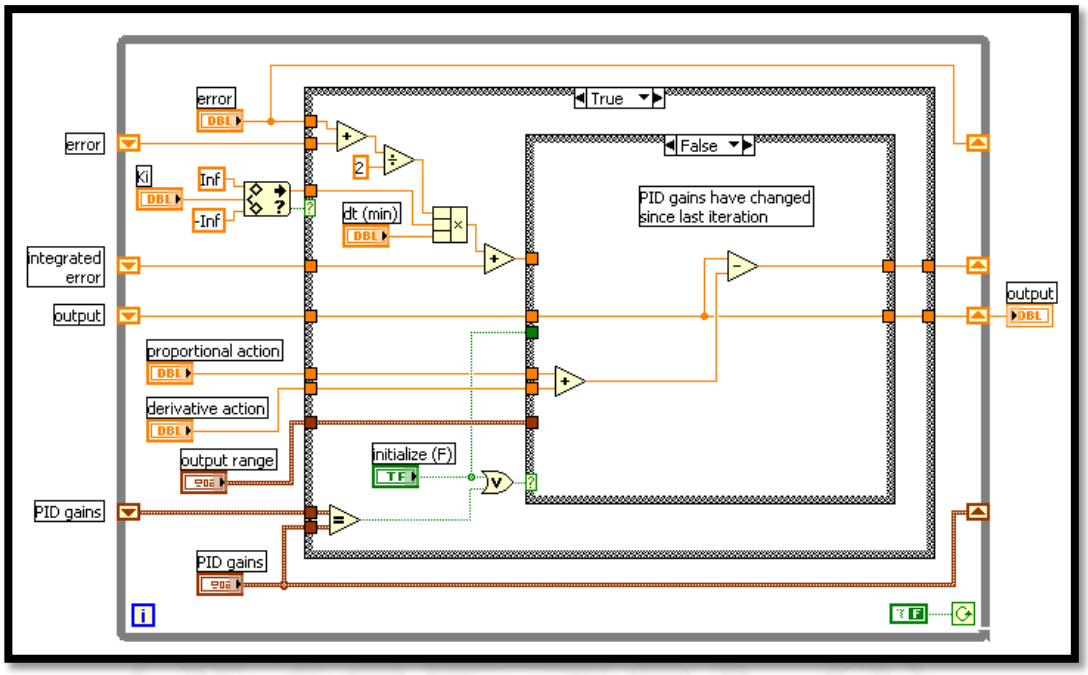


Figura 2.3.3. *Funcionamiento de la acción integral con valores no infinitos de K_i ($K_i = K_c/T_i$) y algún cambio en las ganancias PID o initialize activa.*

OBSERVACIONES:

- La variable de salida de este bloque está limitada por el rango establecido en la variable *OR*.
- Si la variable *initialize* se activa, esto es, si se trata de la primera llamada al bloque o si la variable *reinitialize* se encuentra activa, la acción integral no actúa, la salida del bloque de acción diferencial es 0.

SISTEMA *ANTI-WINDUP*

Del esquema mostrado en la Figura 2.3.1 y conociendo el funcionamiento de los sub-bloques que conforman la acción integral se puede deducir el funcionamiento del sistema *anti-Windup* incluido en el bloque PID. El siguiente fragmento de pseudocódigo pretende facilitar al lector el entendimiento de dicho funcionamiento:

```
I(k) = ((error(k) + error(k-1))/2)*Ki*dt + error acumulado(k-1);

Si (I(k) + P(k) dentro de márgenes OR)

      error acumulado(k) = I(k);

Si no

      error acumulado(k) = SATURACIÓN OR(I(k) + P(k)) – P(k);
```

El pseudocódigo anterior se traduce en que, si el mando no satura, el error en el instante actual (e(k)) se añade al error acumulado. Si el mando fuese a saturar, se modificaría el valor del error en el instante actual para no acumular un error que disparase el valor de la acción integral mientras el mando estuviera saturado.

Capítulo 3 ENSAYO EN LAZO ABIERTO

Este programa se ha empleado en el transcurso de este proyecto para realizar la puesta en funcionamiento del prototipo y para la adquisición de datos a partir de los cuales se obtuvo un modelo del sistema por el método basado en los principios físicos.

El uso de la aplicación es muy intuitivo, a continuación se describen los pasos a seguir para su utilización.

1. Encender el hardware de adquisición de datos de National Instruments, a continuación conectar los ventiladores y la placa de alimentación del módulo termoeléctrico a la red.
2. Abrir el fichero LAZO_ABIERTO.vi. Los elementos que aparecen en el panel frontal se detallan a continuación, y pueden observarse en la Figura 2.3.1.
    a. *STOP*: Para el programa.
    b. *Configuración de los termopares*: se ajustarán según el tipo de termopares e instrumentación utilizados.
    c. *Lecturas de temperaturas*: corresponden a los datos recogidos instantáneamente por los termopares, se muestran tanto gráficamente como en valores.
    d. *Resumen*: muestra un resumen de las temperaturas ambiente, cara fría (media aritmética de las lecturas de los 5 termopares) y cara caliente (media aritmética de las lecturas de los 5 termopares).

3. Indicar en *Voltage output* el valor de la señal de mando deseado. Es posible variar esta señal en el transcurso del ensayo.

4. Pulsar para iniciar el ensayo.

5. Pulsar STOP para finalizar el ensayo.

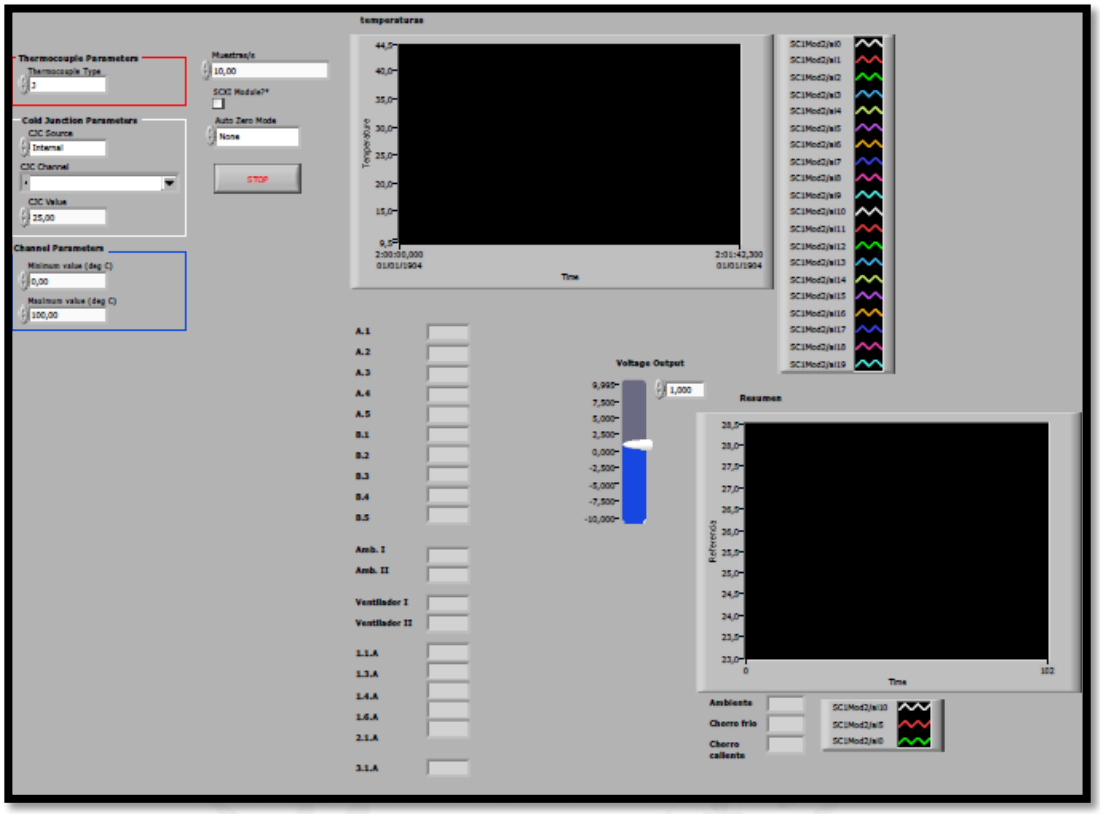


Figura 2.3.1. Interfaz de usuario para la realización de ensayos en lazo abierto.

Capítulo 4 ENSAYO EN LAZO CERRADO

Este programa se ha empleado para implantar los controles diseñados por simulación.

El uso de la aplicación es muy intuitivo al igual que el programa para realizar ensayos en lazo abierto, a continuación se describen los pasos a seguir para su utilización:

1. Encender el hardware de adquisición de datos de National Instruments, a continuación conectar los ventiladores y la placa de alimentación del módulo termoeléctrico a la red.
2. Abrir el fichero LAZO_CERRADO.vi. Los elementos que aparecen en el panel frontal se detallan a continuación, y pueden observarse en la Figura 2.3.1.
    a. *STOP*: Para el programa.
    b. *Configuración de los termopares*: se ajustarán según el tipo de termopares e instrumentación utilizados.
    c. *Lecturas de temperaturas*: corresponden a los datos recogidos instantáneamente por los termopares, se muestran tanto gráficamente como en valores.
    d. *Resumen*: muestra un resumen de las temperaturas referencia, ambiente, cara fría (media aritmética de las lecturas de los 5 termopares) y cara caliente (media aritmética de las lecturas de los 5 termopares).

e. *PID parameters*: campos para introducir los valores de los parámetros del control.

f. *Output range (saturación)*: campos para introducir la saturación superior e interior del mando en Amperios.

g. *T referencia*: consigna de temperatura en el lado frío de la ventana.

3. Indicar en los campos T referencia, PID Parameters y Output range los valores deseados.

4. Pulsar para iniciar el ensayo.

5. Pulsar STOP para finalizar el ensayo.

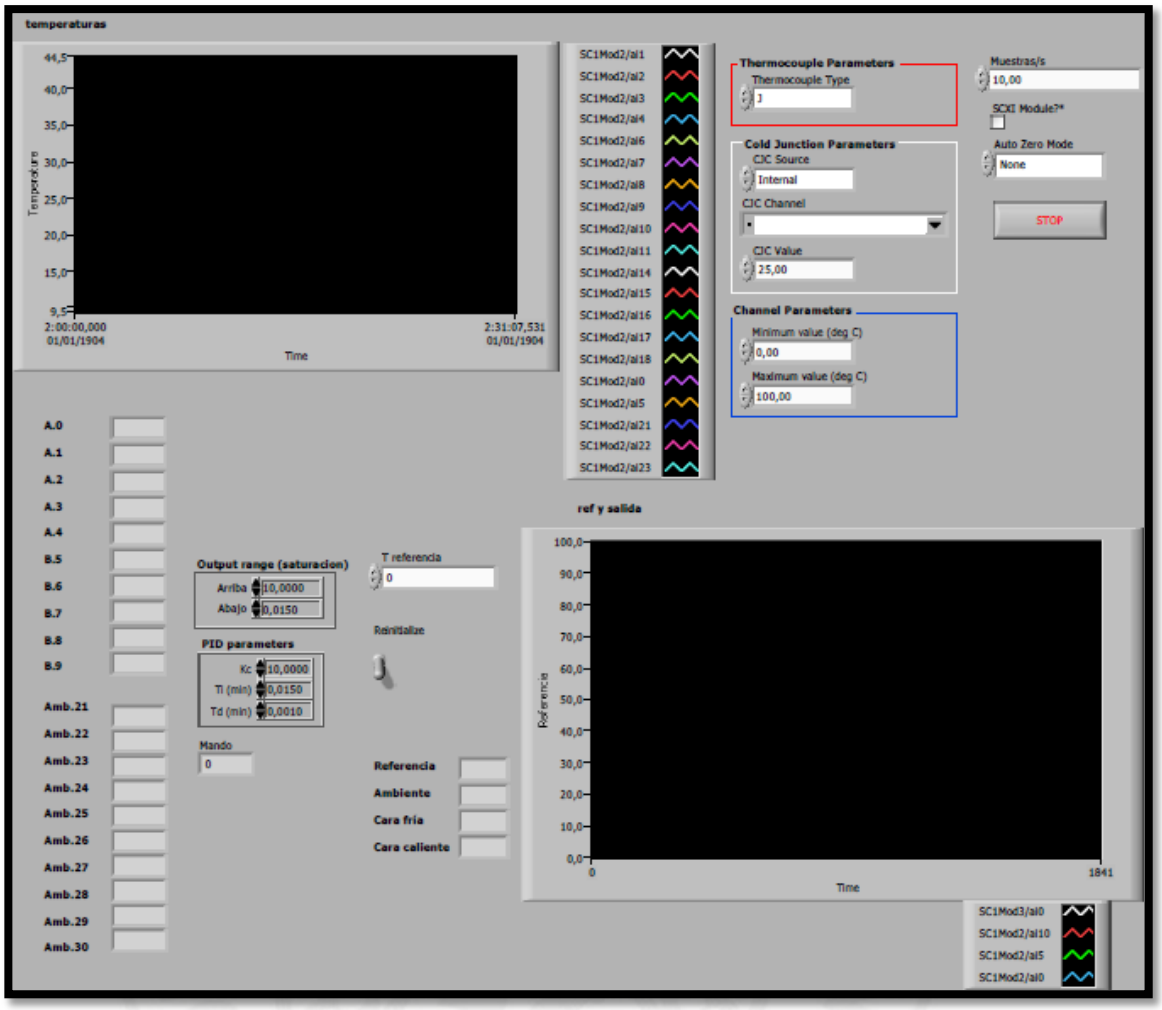


Figura 2.3.1. Interfaz de usuario para la realización de ensayos en lazo abierto.

Parte IV CÓDIGO FUENTE

Capítulo 1 AJUSTE.M

```
%%%
```

```
Tsamp=ts;  % Intervalo fijo de integracion
Nd=tfin/Tsamp; % Numero de datos en el ajuste
tol1=1;    % Tolerancia (variacion de la funcion objetivo 'V')
tol2=1;    % Tolerancia (variacion de los parametros 'theta')
V=1;       % Inicializacion del valor anterior la funcion objetivo
Vaux=0.01; % Inicializacion del valor nuevo de la funcion objetivo
dgn=ones(1,Np); % Direccion de Gauss-Newton (incremento de los
parametros)
niter=0;  % Numero de iteraciones
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%  CHEQUO DE LA ESTABILIDAD INICIAL
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Matriz de estado del sistema (linealizacion)
 [A,B,C,D]=linmod('sistema');

% Flag de estabilidad (¿la parte real de todos los
% autovalores de 'A' son negativas?)
 stb=all(real(eig(A))<=0);

if stb==0
    disp('SISTEMA INESTABLE. MODIFICA LOS PARAMETROS DEL
REGULADOR')
    return
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  ALGORITMO DE AJUSTE
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
% El algoritmo se ejecuta mientras (bucle while) la variacion de
% la funcion objetivo en % es mayor que 'tol1' o el maximo
incremento
% en % de los parametros es mayor que 'tol2'.
% Tambien se puede usar como criterio el numero de iteraciones.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%

while (100*(V-Vaux)/Vaux>tol1 | 100*max(abs(dgn./theta))>tol2) %&
niter<10

    niter=niter+1;  % Se incrementa el numero de iteraciones

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%
    % Actualizacion de los parametros
    th=theta;
    %h0=theta(2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%
```

```
 % Simulacion del sistema
%[t,x,ys,ym,error]=sim('sistema',tfin);
sim('sistema',tfin)
ys=y;
ym=sal;
error=ys-ym;

 % Funcion objetivo (error cuadratico medio)
 V=sqrt(sum((error).^2)/Nd);


 % Construccion de la matriz Jacobiana por diferencias finitas

 for i=1:Np

     thaux=theta;
     h=.001*abs(theta(i)); % Incremento para las derivadas
     if abs(theta(i))<10*sqrt(eps)
         h=.01*sqrt(eps);
     end
     thaux(i)=theta(i)+h;

%%%
```

```
        % BUSQUEDA DE 'MU' (ajuste del paso en la direccion de
Gauss-
    % Newton para garantizar una disminucion de la funcion
objetivo
    mu=2;  % Inicializacion de mu
    Vaux=V+10; % Inicializacion de la funcion objetivo en el nuevo
punto
    stb=1; % Flag de estabilidad del sistema (0-inestable: 1-
estable)

    % Busqueda de 'mu' mientras no se reduzca la funcion objetivo
o
    % el sistema sea inestable

    while Vaux > V | stb==0

        mu=mu/2; % Reduccion del paso
        thaux=theta+mu*dgn; % Actualizacion de parametros

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%
        % Actualizacion de los parametros del regulador
        th=thaux;
        %h0=thaux(2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%

        % Matriz de estado del sistema (linealizacion)
        [A,B,C,D]=linmod('sistema');

        % Flag de estabilidad (¿la parte real de todos los
        % autovalores de 'A' son negativas?)
        stb=all(real(eig(A))<=0);

        % Simulacion con los nuevos parametros
        if stb==0
         yaux=zeros(size(yaux));
      else
         %[t,x,yaux,ym,error]=sim('sistema',tfin);
         sim('sistema',tfin)
           yaux=y;
        ym=sal;
        error=yaux-ym;

      end

        % Actualizacion de la funcion objetivo
        Vaux=stb*sqrt(sum((yaux-ym).^2)/Nd);

    end



    % Parametros y funcion objetivo en pantalla
```

```
    theta=thaux
    Vaux

end

% Matriz de covarianzas de los parametros (Sensibilidades)
%P=Vaux^2*inv(J'*J);
%disp('Coeficientes de dispersión')
%disp(100*sqrt(diag(P)')./theta)
```

Capítulo 2 PREPARA_DATOS.M

```
clear

load K15_sat0_-3.lvm


matriz=K15_sat0__3;

t=(0:1:size(matriz(:,1))-1)';%Tiempo en segundos

ref=matriz(:,2);
%Cara fria (A)
fria0=matriz(:,3);
fria1=matriz(:,4);
fria2=matriz(:,5);
fria3=matriz(:,6);
fria4=matriz(:,7);

fria=(fria0+fria1+fria2+fria3+fria4)/5;

%Cara caliente (B)
cal5=matriz(:,8);
cal6=matriz(:,9);
cal7=matriz(:,10);
cal8=matriz(:,11);
cal9=matriz(:,12);

cal=(cal5+cal6+cal7+cal8+cal9)/5;

%Ambiente
amb10=matriz(:,13);%Cara fria A
amb11=matriz(:,14);%Cara caliente B

amb=(amb10+amb11)/2;

%Celdas
A11=matriz(:,17);
A13=matriz(:,18);
A14=matriz(:,19);
A16=matriz(:,20);
A21=matriz(:,21);

B11=matriz(:,24);
B13=matriz(:,25);
B14=matriz(:,26);
B16=matriz(:,27);
```

```
B21=matriz(:,28);
B31=matriz(:,29);

B51=matriz(:,31);
B53=matriz(:,32);
B54=matriz(:,33);
B56=matriz(:,34);

%Mando
mando=matriz(:,35);

plot(t,[ref fria cal amb mando fria-amb])
grid

disp('Hacer zoom en la zona de interés de la figura')
disp('Después, pulsar cualquier tecla')
pause
[aux1,aux2]=ginput(2);%Límites para ajuste
aux1=ceil(aux1);%Redondeo
time=t(aux1(1):aux1(2))-t(aux1(1));%Ajusta el tiempo a 0 en la
                                   %primera pulsación
tfin=time(end);

ent=mando(aux1(1):aux1(2));%mando del ajuste
%ent=ent-mean(ent(1:30))-1.5;%elimina ruido
sal=fria(aux1(1):aux1(2));%salida del ajuste
sal=sal-mean(sal(1:30));%elimina ruido

ts=1;

plot(time,[ent,sal])
```

Capítulo 3 DISENO_PI.M

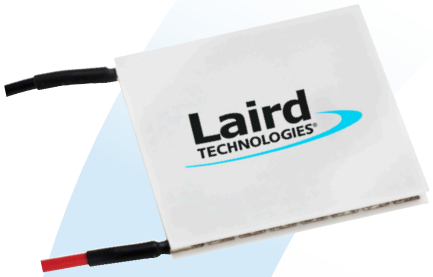
```
%% %%%%%%%%%%%%%%Planta%%%%%%%%%%%%%%
clear
load segun_cero th

P=minreal(tf([th(1)*th(4) th(1)],[th(2)*th(3) th(2)+th(3) 1]));

nichols(P)

%% %%%%%%%%%%%%%%%%DISEÑO PI%%%%%%%%%%%%%%%%

s=tf('s');

%Se obtiene la w0 de diseño a mano

%Parámetros
FiPI=-10*pi/180; %Retraso de la acción integral

w0=0.0854; %frecuencia a 10º a la derecha del margen de fase
requerido
%a esta frecuencia la ganancia son -14.5 dB

Ac=10^(14.5/20);

%Parte proporcional
Kp=Ac*cos(FiPI);

%Parte integral
I=tan(FiPI+pi/2)/w0;

%Control serie
C=Kp*(1+I*s)/(I*s)


%Equivalencias a paralelo:
Ti=I;

G=C*P;

F=feedback(G,1);

ltiview(F)
```

Parte V DATASHEETS

Laird TECHNOLOGIES

Innovative **Technology** for a **Connected** World

Ceramic Plate Series CP08,63,06
Thermoelectric Modules



The Ceramic Plate (CP) Series of Thermoelectric Modules (TEMs) is considered 'the standard' in the thermoelectric industry.

This broad product line of high-performance and highly reliable TEMs is available in numerous heat pumping capacities, geometric shapes, and input power ranges. Assembled with Bismuth Telluride semiconductor material and thermally conductive Aluminum Oxide ceramics, the CP Series is designed for higher current and large heat-pumping applications.

FEATURES

- Precise Temperature Control
- Compact Geometric Sizes
- Reliable Solid State Operation
- No Sound or Vibration
- Environmentally Friendly
- DC Operation
- RoHS Compliant

APPLICATIONS

- Medical Lasers
- Lab Science Instrumentation
- Clinical Diagnostic Systems
- Photonics Laser Systems
- Electronic Enclosure Cooling
- Food & Beverage Cooling
- Chillers (Liquid Cooling)

PERFORMANCE SPECIFICATIONS		
Hot Side Temperature (°C)	25°C	50°C
Qmax (Watts)	9.0	9.9
Delta Tmax (°C)	67	75
Imax (Amps)	2.1	2.1
Vmax (Volts)	7.6	8.2
Module Resistance (Ohms)	3.13	3.53

SUFFIX	THICKNESS (PRIOR TO TINNING)	FLATNESS & PARALLELISM	HOT FACE	COLD FACE	Lead Length
L	0.134″± 0.010″	0.0015″ / 0.0015″	Lapped	Lapped	4.5″
L1	0.134″± 0.001″	0.001″ / 0.001″	Lapped	Lapped	4.5″
L2	0.134″± 0.0005″	0.0005″ / 0.0005″	Lapped	Lapped	4.5″
ML	0.138″± 0.010″	0.002″ / 0.002″	Metallized	Lapped	4.5″
LM	0.138″± 0.010″	0.002″ / 0.002″	Lapped	Metallized	4.5″
MM	0.142″± 0.010″	0.002″ / 0.002″	Metallized	Metallized	4.5″

SEALING OPTION

SUFFIX	SEALANT	COLOR	TEMP RANGE	DESCRIPTION
RT	RTV	White	-60 to 204 °C	Non-corrosive, silicone adhesive sealant
EP	Epoxy	Black	-55 to 150 °C	Low density syntactic foam epoxy encapsulant

global solutions: local support™

Americas: +1 888.246.9050
Europe: +46.31.420530
Asia: +86.755.2714.1166

clv.customerpos@lairdtech.com
www.lairdtech.com

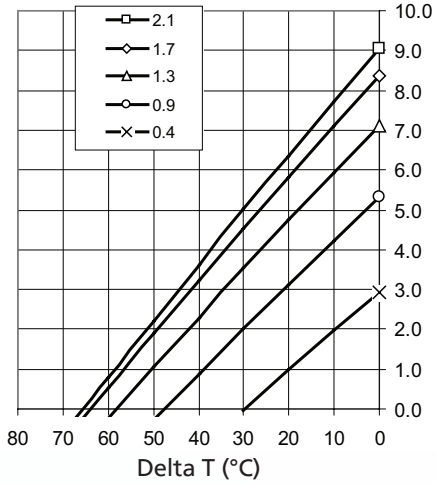
Laird TECHNOLOGIES

Innovative **Technology** for a **Connected** World

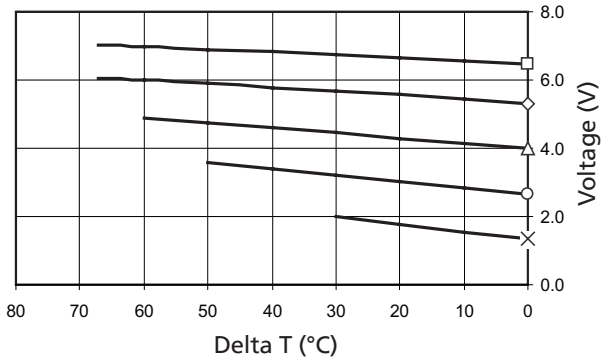
Ceramic Plate Series CP08,63,06
Thermoelectric Modules

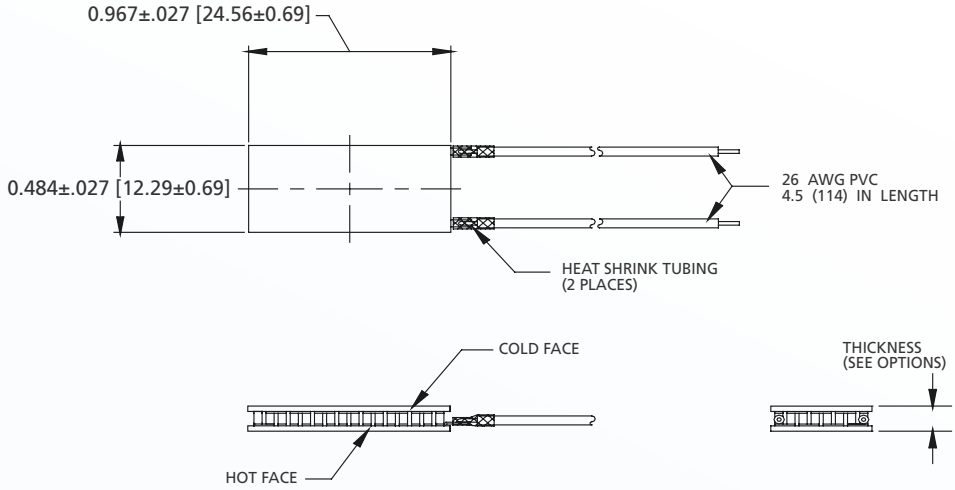
Performance Curves at Th = 25°C

THERMO



ELECTRIC





Ceramic Material: Alumina (Al_2O_3)
Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

OPERATING TIPS

- Max Operating Temperature: 80°C
- Do not exceed Imax or Vmax when operating module
- Reference assembly guidelines for recommended installation
- Solder tinning also available on metallized ceramics

Any information furnished by Laird Technologies and its agents is believed to be accurate and reliable. Responsibility for the use and application of Laird Technologies materials rests with the end user since Laird Technologies and its agents cannot be aware of all potential uses. Laird Technologies makes no warranties as to the fitness, merchantability, or suitability of any Laird Technologies materials or products for any specific or general uses. Laird Technologies shall not be liable for incidental or consequential damages of any kind. All Laird Technologies products are sold pursuant to the Laird Technologies terms and conditions of sale in effect from time to time, a copy of which will be furnished upon request. For further information please visit our website at www.lairdtech.com Alternatively contact: sales@lairdtech.com. Bluetooth® is a trademark owned by Bluetooth SIG, Inc., USA and licensed to Laird Technologies.

® 2008 All Rights Reserved. Laird Technologies is a registered trademark of Laird Technologies, Inc.

Description

The 25A8 PWM servo drive is designed to drive brush type DC motors at a high switching frequency. A single red/green LED indicates operating status. The drive is fully protected against over-voltage, under voltage, over-current, over-heating and short-circuits across motor, ground and power leads. Furthermore, the drive can interface with digital controllers or be used stand-alone and requires only a single unregulated DC power supply. Loop gain, current limit, input gain and offset can be adjusted using 14-turn potentiometers. The offset adjusting potentiometer can also be used as an on-board input signal for testing purposes.

Power Range

Peak Current	25 A
Continuous Current	12.5 A
Supply Voltage	20 - 80 VDC

Features

- Four Quadrant Regenerative Operation
- DIP Switch Selectable Modes
- Adjustable Current Limits
- High Switching Frequency
- Differential Input Command
- Digital Fault Output Monitor
- On-Board Test Potentiometer
- Offset Adjustment Potentiometer
- Adjustable Input Gain
- Drive Status LED
- Current Monitor Output
- Directional Inhibit Inputs for Limit Switches

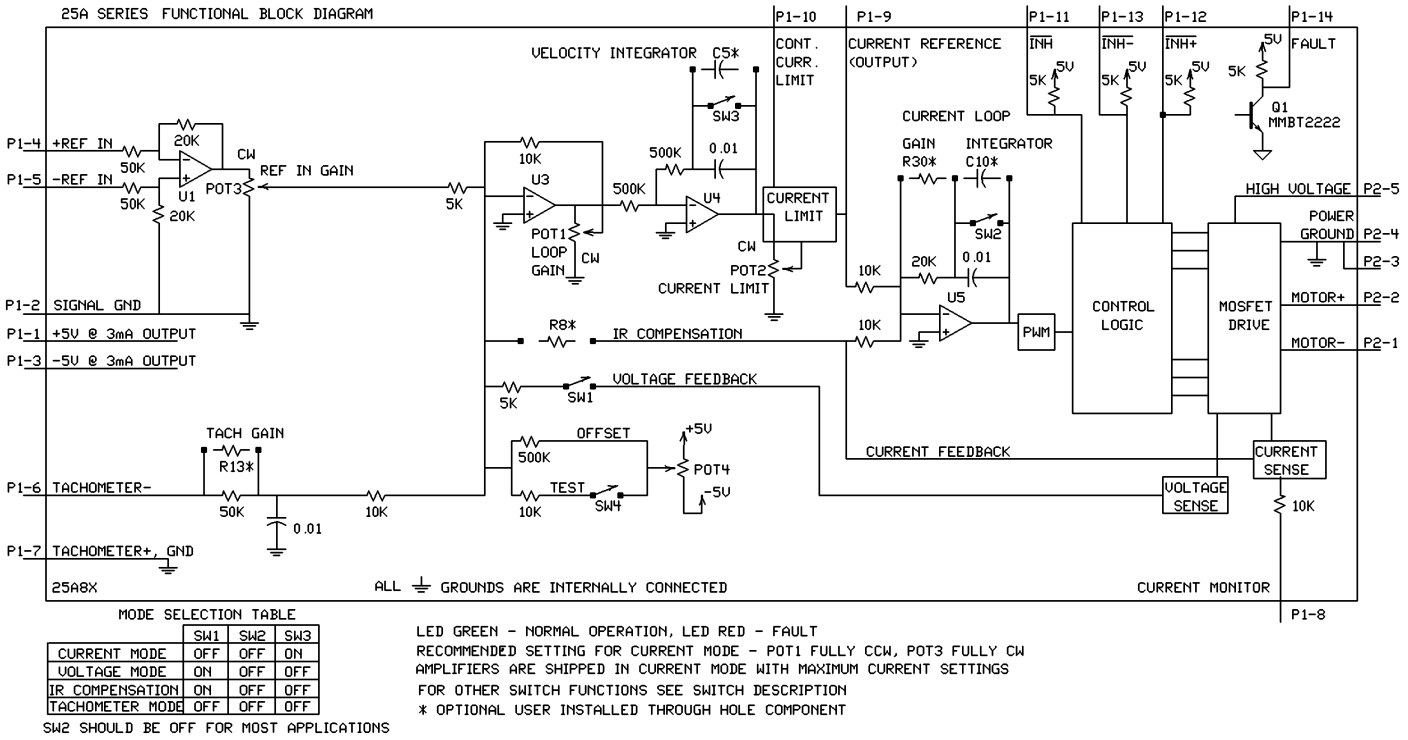
MODES OF OPERATION
- Current
- Tachometer Velocity
- Voltage
- IR Compensation

COMMAND SOURCE
- ±10 V Analog

FEEDBACK SUPPORTED
- Tachometer

COMPLIANCES & AGENCY APPROVALS
- UL
- cUL
- CE Class A (LVD)
- CE Class A (EMC)
- RoHS

BLOCK DIAGRAM



MODE SELECTION TABLE

	SW1	SW2	SW3
CURRENT MODE	OFF	OFF	ON
VOLTAGE MODE	ON	OFF	OFF
IR COMPENSATION	ON	OFF	OFF
TACHOMETER MODE	OFF	OFF	OFF

SW2 SHOULD BE OFF FOR MOST APPLICATIONS

LED GREEN - NORMAL OPERATION, LED RED - FAULT
RECOMMENDED SETTING FOR CURRENT MODE - POT1 FULLY CCW, POT3 FULLY CW
AMPLIFIERS ARE SHIPPED IN CURRENT MODE WITH MAXIMUM CURRENT SETTINGS
FOR OTHER SWITCH FUNCTIONS SEE SWITCH DESCRIPTION
* OPTIONAL USER INSTALLED THROUGH HOLE COMPONENT

Information on Approvals and Compliances	
cULus	US and Canadian safety compliance with UL 508c, the industrial standard for power conversion electronics. UL registered under file number E140173. Note that machine components compliant with UL are considered UL registered as opposed to UL listed as would be the case for commercial products.
CE	Compliant with European CE for both the Class A EMC Directive 89/336/EEC on Electromagnetic Compatibility (specifically EN 61000-6-4:2001, EN 61000-6-2:2001, EN 61000-3-2:2000, and EN 61000-3-3:1995/A1:2001) and LVD requirements of directive 73/23/EEC (specifically EN 60204-1), a low voltage directive to protect users from electrical shock.
RoHS COMPLIANCE	RoHS (Reduction of Hazardous Substances) is intended to prevent hazardous substances such as lead from being manufactured in electrical and electronic equipment.

SPECIFICATIONS

Power Specifications		
Description	Units	Value
DC Supply Voltage Range	VDC	20 - 80
DC Bus Over Voltage Limit	VDC	86
Maximum Peak Output Current[1]	A	25
Maximum Continuous Output Current	A	12.5
Maximum Power Dissipation at Continuous Current	W	50
Minimum Load Inductance (Line-To-Line)[2]	µH	200
Switching Frequency	kHz	22
Control Specifications		
Description	Units	Value
Command Sources	-	±10 V Analog
Feedback Supported	-	Tachometer
Modes of Operation	-	Current, IR Compensation, Tachometer Velocity, Voltage
Motors Supported	-	Single Phase (Brushed, Voice Coil, Inductive Load)
Hardware Protection	-	Over Current, Over Temperature, Over Voltage, Short Circuit (Phase-Phase & Phase-Ground)
Mechanical Specifications		
Description	Units	Value
Agency Approvals	-	CE Class A (EMC), CE Class A (LVD), cUL, RoHS, UL
Size (H x W x D)	mm (in)	129.3 x 75.8 x 25.1 (5.1 x 3 x 1)
Weight	g (oz)	280 (9.9)
Heatsink (Base) Temperature Range[3]	°C (°F)	0 - 65 (32 - 149)
Storage Temperature Range	°C (°F)	-40 - 85 (-40 - 185)
Form Factor	-	Stand Alone
P1 Connector	-	16-pin, 2.54 mm spaced, friction lock header
P2 Connector	-	5-port, 5.08 mm spaced, screw terminal

Notes

1. Maximum duration of peak current is ~2 seconds.
2. Lower inductance is acceptable for bus voltages well below maximum. Use external inductance to meet requirements.
3. Additional cooling and/or heatsink may be required to achieve rated performance.

PIN FUNCTIONS

P1 - Signal Connector			
Pin	Name	Description / Notes	I/O
1	+5V 3mA OUT	±5 V @ 3 mA low power supply for customer use. Short circuit protected. Reference ground common with signal ground.	O
2	SIGNAL GND		GND
3	-5V 3mA OUT		O
4	+REF IN	Differential Reference Input (±10 V Operating Range, ±15 V Maximum Input)	I
5	-REF IN		I
6	-TACH IN	Negative Tachometer Input (Maximum ±60 V). Use signal ground for positive input.	I
7	+TACH / GND	Positive Tachometer Input and Signal Ground	I
8	CURRENT MONITOR	Current Monitor. Analog output signal proportional to the actual current output. Scaling is 4.4 A/V. Measure relative to signal ground.	O
9	CURR REF OUT	Measures the command signal to the internal current-loop. This pin has a maximum output of ±7.25 V when the drive outputs maximum peak current. Measure relative to signal ground.	O
10	CONT CURRENT LIMIT	Can be used to reduce the factory-preset maximum continuous current limit without affecting the peak current limit by attaching an external current limiting resistor between this pin and signal ground. See pin details for resistor values.	I
11	$\overline{\text{INHIBIT IN}}$	TTL level (+5 V) inhibit/enable input. Leave open to enable drive. Pull to ground to inhibit drive. Inhibit turns off all power devices.	I
12	$\overline{\text{+INHIBIT IN}}$	Positive Direction Inhibit (Does Not Cause A Fault Condition)	I
13	$\overline{\text{-INHIBIT IN}}$	Negative Direction Inhibit (Does Not Cause A Fault Condition)	I
14	FAULT OUT	TTL level (+5 V) output becomes high when power devices are disabled due to at least one of the following conditions: inhibit, output short circuit, over voltage, over temperature, power-up reset.	O
15	NC	Not Connected (Reserved)	-
16	NC	Not Connected (Reserved)	-

P2 - Power Connector			
Pin	Name	Description / Notes	I/O
1	-MOT	Negative Motor Output	O
2	+MOT	Positive Motor Output	O
3	POWER GND	Power Ground (Common With Signal Ground)	GND
4	POWER GND		GND
5	HIGH VOLTAGE	DC Power Input	I

Pin Details

CONT CURRENT LIMIT (P1-10)

This pin can be used to reduce the continuous current limit without affecting the peak current limit by connecting an external current limiting resistor between this pin and signal ground. See table below.

Current Limit Resistor	15 kΩ	6.6 kΩ	3.4 kΩ	2.1 kΩ	1.2 kΩ	810Ω	500 Ω	250 Ω	0 kΩ
Continuous Current Limit	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%

Note: These values are secondary to the continuous/peak ratio set by the DIP switches.

HARDWARE SETTINGS

Switch Functions

Switch	Description	Setting	
		On	Off
1	Voltage feedback. Mode dependent (see mode selection table below).	On	Off
2	Current loop integral gain. Activates or deactivates integration. OFF by default.	Inactive	Active
3	Outer loop integration. Activates or deactivates integration. ON, by default, for current mode and OFF for other modes.	Inactive	Active
4	Test/Offset. Switches the function of the Test/Offset pot between an on-board command input for testing or a command offset adjustment. OFF by default.	Test	Offset

Mode Selection Table

	SW1	SW3
CURRENT	OFF	ON
VOLTAGE	ON	OFF
IR COMPENSATION	ON	OFF
TACHOMETER VELOCITY	OFF	OFF

Potentiometer Functions

Potentiometer	Description	Turning CW
1	Loop gain adjustment for voltage/velocity modes. Turn this pot fully CCW in current mode.	Increases gain
2	Current limit. It adjusts both continuous and peak current limit while maintaining their ratio.	Increases limit
3	Reference gain. Adjusts the ratio between input signal and output variables (voltage, current, or velocity).	Increases gain
4	Offset / Test. Used to adjust any imbalance in the input signal or in the amplifier. Can also be used as an on-board signal source for testing purposes.	Adjusts offset in negative direction

Note: Potentiometers are approximately linear and have 12 active turns with 1 inactive turn on each end.

Through-hole Components†

Location	Description
C10*	Current Loop Integrator. Through-hole capacitor that can be added for more precise current loop tuning. See section below on Tuning with Through-hole components for more details.
C5*	Velocity Loop Integrator. Through-hole capacitor that can be added for more precise velocity loop tuning. See section below on Tuning with Through-hole components for more details.
R13*	Tachometer Input Scaling. Through-hole resistor that can be added to change the gain of the tachometer input. See section below on Tachometer Gain for more details.
R30*	Current Loop Proportional Gain. Through-hole resistor that can be added for more precise current loop tuning. See section below on Tuning with Through-hole components for more details.
R8*	IR Compensation Scaling. Through-hole resistor that must be added to configure the amplifier for IR Compensation mode. See section below on IR Compensation Notes for more details.

Tachometer Gain

Some applications may require an increase in the gain of the tachometer input signal. This occurrence will be most common in designs where the tachometer input has a low voltage to RPM scaling ratio. The drive offers a through-hole location listed in the above table where a resistor can be added to increase the tachometer gain. Use the drive's block diagram to determine an appropriate resistor value.

Tuning With Through-hole Components

In general, the drive will not need to be further tuned with through-hole components. However, for applications requiring more precise tuning than what is offered by the potentiometers and dipswitches, the drive can be manually modified with through-hole resistors and capacitors as denoted in the above table. By default, the through-hole locations are not populated when the drive is shipped. Before attempting to add through-hole components to the board, consult the section on loop tuning in the installation notes on the manufacturer's website. Some general rules of thumb to follow when adding through-hole components are:

- A larger resistor value will increase the proportional gain, and therefore create a faster response time.
- A larger capacitor value will increase the integration time, and therefore create a slower response time.

Proper tuning using the through-hole components will require careful observation of the loop response on a digital oscilloscope to find the optimal through-hole component values for the specific application.

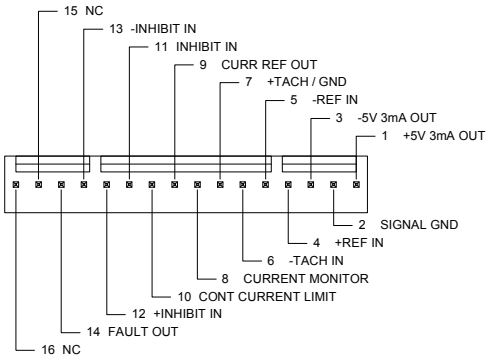
IR Compensation Notes

For applications that will use IR Compensation mode, a resistor must be added to the location named in the table above. The combination of the added resistor and correct dipswitch settings will configure the amplifier for IR Compensation mode. While in IR Compensation mode, the amplifier will adjust the duty cycle to compensate for changes in the output current. Consult the amplifier's functional block diagram and the manufacturer's website for more information.

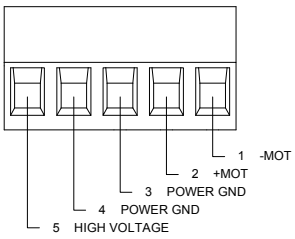
†Note: Damage done to the drive while performing these modifications will void the warranty.

MECHANICAL INFORMATION

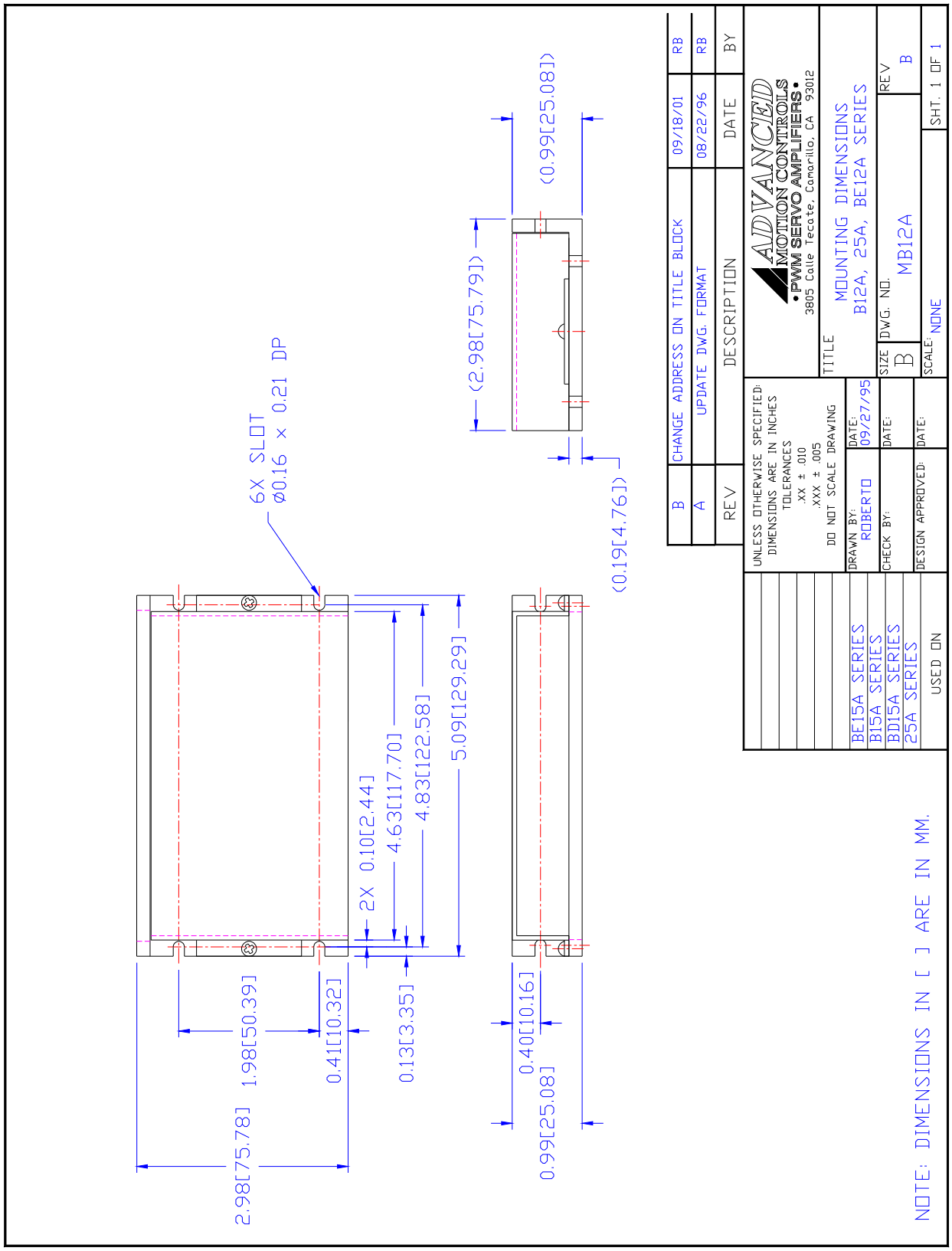
P1 - Signal Connector		
Connector Information		16-pin, 2.54 mm spaced, friction lock header
Mating Connector	Details	Molex: P/N 22-01-3167 (connector) and P/N 08-50-0114 (insert terminals)
	Included with Drive	Yes



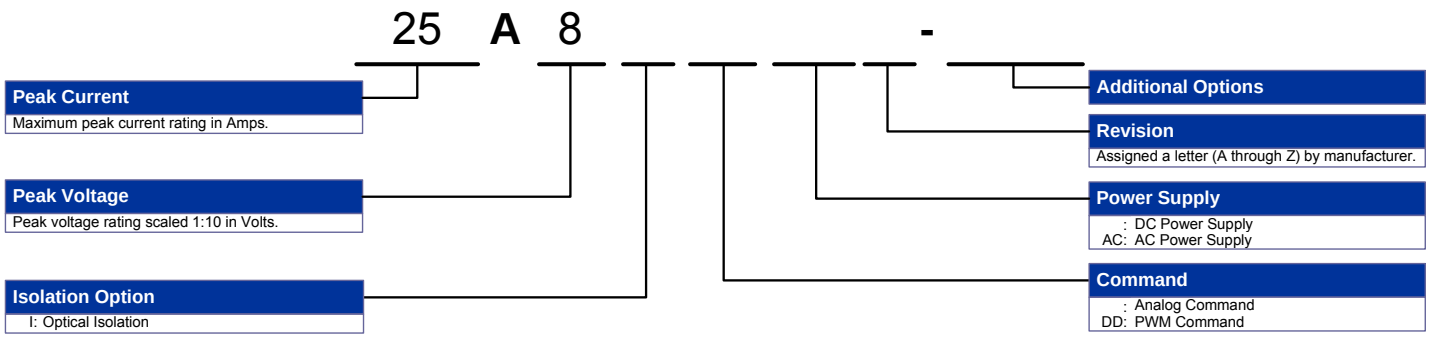
P2 - Power Connector		
Connector Information		5-port, 5.08 mm spaced, screw terminal
Mating Connector	Details	Not applicable
	Included with Drive	Not applicable



MOUNTING DIMENSIONS



PART NUMBERING INFORMATION



ADVANCED Motion Controls servo drives are available in many configurations. All models listed in the selection tables of the website are readily available, standard product offerings.

ADVANCED Motion Controls also has the capability to promptly develop and deliver specified products for OEMs with volume requests. Our Applications and Engineering Departments will work closely with your design team through all stages of development in order to provide the best servo drive solution for your system. Equipped with on-site manufacturing for quick-turn customs capabilities, *ADVANCED* Motion Controls utilizes our years of engineering and manufacturing expertise to decrease your costs and time-to-market while increasing system quality and reliability.

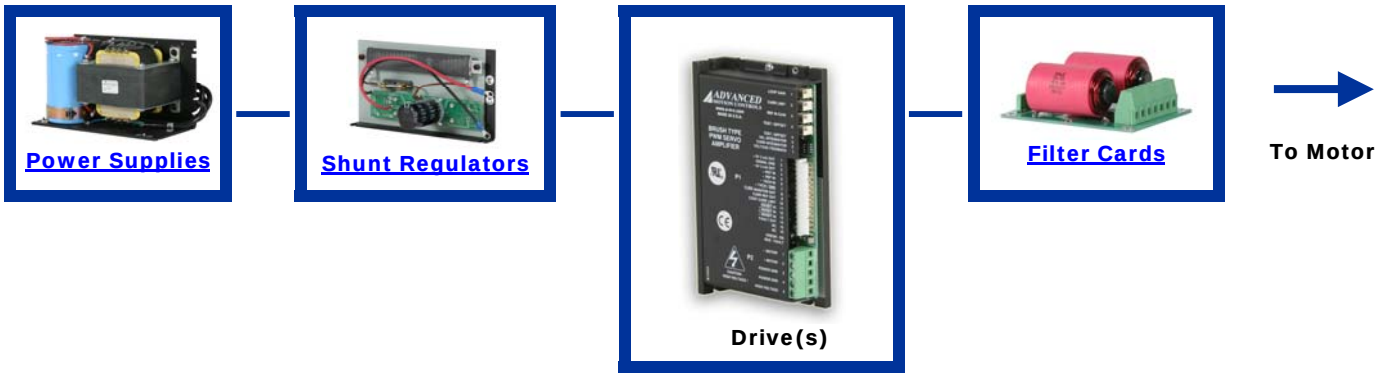
Examples of Customized Products

- Integration of Drive into Motor Housing
- Mount OEM PCB onto Drive Without Cables
- Multi-axis Configuration for Compact System
- Custom PCB and Baseplate for Optimized Footprint
- RTV/Epoxy Components for High Vibration
- OEM Specified Connectors for Instant Compatibility
- OEM Specified Silkscreen for Custom Appearance
- Increased Thermal Limits for High Temp. Operation
- Integrate OEM Circuitry onto Drive PCB
- Custom Control Loop Tuned to Motor Characteristics
- Custom I/O Interface for System Compatibility
- Preset Switches and Pots to Reduce User Setup
- Optimized Switching Frequency
- Ramped Velocity Command for Smooth Acceleration
- Remove Unused Features to Reduce OEM Cost
- Application Specific Current and Voltage Limits

Feel free to contact Applications Engineering for further information and details.

Available Accessories

ADVANCED Motion Controls offers a variety of accessories designed to facilitate drive integration into a servo system. Visit www.a-m-c.com to see which accessories will assist with your application design and implementation.



All specifications in this document are subject to change without written notice. Actual product may differ from pictures provided in this document.

REF 100-11/14

DC centrifugal compact fan

single inlet

ebm-papst St. Georgen GmbH & Co. KG
Hermann-Papst-Straße 1
78112 St. Georgen
Phone: +49 7724 81-0
Fax: +49 7724 81-1309
www.ebmpapst.com
info2@de.ebmpapst.com

Nominal data

Type	REF 100-11/14	
Nominal voltage	[VDC]	24
Nominal voltage range	[VDC]	16 .. 30
Speed	[min^{-1}]	5400
Power input	[W]	7.5
Min. ambient temperature	[°C]	-20
Max. ambient temperature	[°C]	75
Air flow	[m^3/h]	86
Sound power level	[B]	6.3

ml = max. load · me = max. efficiency · rfa = running at free air · cs = customer specs · cu = customer unit
Subject to alterations

DC centrifugal compact fan

single inlet

Technical features

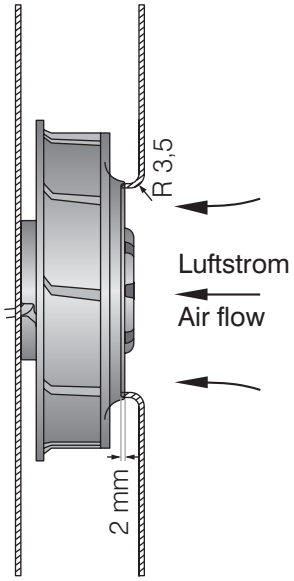
Dimensions	100 Ø x 25 mm
General description	Pressure-optimized blower. Very flat and high-performance centrifugal fan. Optional Vario-Pro: Highly flexible software configuration for the fan ensures an easily customizable solution to meet the individual requirements of your application. Backward curved impeller. Electronic commutation completely integrated.
Connection line	Single strands AWG 22, TR 64, bared and tin-plated.
Locked-rotor protection	With electronic blocking and overload protection
Direction of protection	Right, looking at rotor
Direction of air flow	Axial air intake, centrifugal air exhaust out of the outlet.
Bearing	Ball bearings
Lifetime L10 at 40 °C	80000 h
Lifetime L10 at maximum temperature	30000 h
Mass	0.160 kg
Housing material	Scroll housing of fiberglass-reinforced plastic.
Material of impeller	Fiberglass-reinforced plastic
Motor protection	Protected against reverse polarity and locking.
Option	Speed signal
Approval	CE

ebm-papst St. Georgen GmbH & Co. KG · Hermann-Papst-Straße 1 · 78112 St. Georgen · Phone: +49 7724 81-0 · Fax: +49 7724 81-1309 · www.ebmpapst.com · info2@de.ebmpapst.com

DC centrifugal compact fan

single inlet

Product drawing

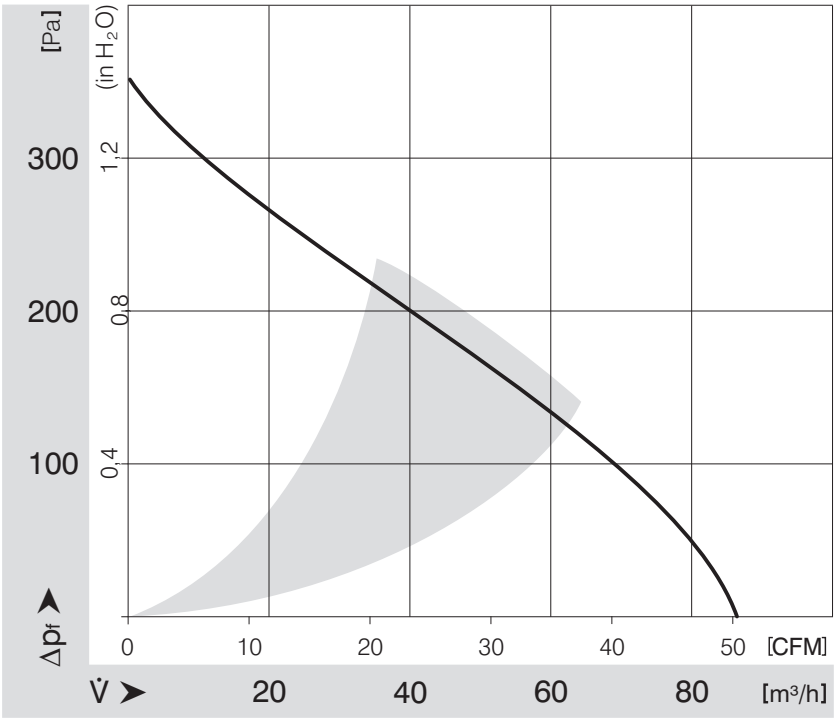


ebm-papst St. Georgen GmbH & Co. KG · Hermann-Papst-Straße 1 · 78112 St. Georgen · Phone: +49 7724 81-0 · Fax: +49 7724 81-1309 · www.ebmpapst.com · info2@de.ebmpapst.com

DC centrifugal compact fan

single inlet

Charts: Air flow



ebm-papst St. Georgen GmbH & Co. KG · Hermann-Papst-Straße 1 · 78112 St. Georgen · Phone: +49 7724 81-0 · Fax: +49 7724 81-1309 · www.ebmpapst.com · info2@de.ebmpapst.com

SCXI Chassis

NI SCXI-1000, NI SCXI-1000DC, NI SCXI-1001

- Shielded enclosures for SCXI modules
- Low-noise environment for signal conditioning
- Rugged, compact chassis
- Forced air cooling
- Optional USB data acquisition and control module
- Optional rack mounting
- 3 internal analog buses
- Timing circuitry for high-speed multiplexing
- AC, DC, or battery-power options
- NI-DAQmx driver software simplifies chassis configuration

Operating Systems
- Windows 2000/NT/XP

Recommended Software
- LabVIEW
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio
- Lookout
- VI Logger

Driver Software[1]
- NI-DAQmx
- NI-SWITCH

[1] Included with DAQ device or switch

Overview

National Instruments offers rugged, low-noise SCXI chassis to house, power, and control your SCXI modules and conditioned signals. The unique SCXI chassis architecture includes the SCXIbus, which routes analog and digital signals and acts as the communication conduit between modules. Chassis control circuitry manages this bus, synchronizing the timing between each module and the DAQ device. With this architecture, you can scan input channels from several modules in several chassis at rates up to 333 kS/s for every DAQ device.

The versatility of SCXI lies in its various chassis options and expandability. You can choose from a number of different standard AC or DC power options. You can control the system by connecting directly to an M Series, E Series, B Series or USB multifunction DAQ device. You can even daisy-chain up to eight chassis for control by a single DAQ device. Regardless of your configuration, programming the system does not change. You use the same function calls you use with a DAQ device by itself. NI-DAQ or NI-SWITCH driver software handles all low-level programming.

The SCXIbus

The SCXIbus is a guarded analog and digital bus located in the backplane of the SCXI chassis. Modules inserted into the chassis connect to this backplane automatically. This bus acts as a conduit for routing signals, transferring data, programming modules, and passing timing signals.

Chassis Control Circuitry

Each SCXI chassis includes control circuitry. This circuitry handles all signal routing on the SCXIbus. During high-speed analog input operations, it controls which input signals are connected to the bus and routed back to the DAQ device. It also ensures tight synchronization between the SCXI modules and the DAQ device.

Expandability

If your initial system requires more SCXI modules than one chassis can hold, or your system requirements change, simply add another chassis. With the SCXI expandable architecture, you can daisy-chain up to eight chassis to a single multifunction DAQ device. Whether you are using a single-chassis or multichassis system, you can still acquire data at rates up to 333 kS/s.

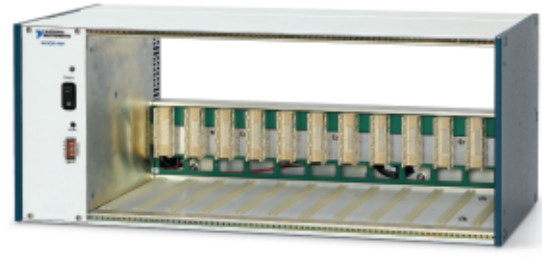
Power Options

These SCXI chassis offer a number of standard AC power options. Simply choose the option for your country or a country compatible with your power specifications. If you move your system to another country, you can easily reconfigure the system for any of the other AC power configurations.

SCXI Chassis

SCXI-1000

The NI SCXI-1000 is a 4-slot chassis available with a number of standard AC power options. This chassis is ideal for single-chassis or low-channel-count applications. If your application grows, you can daisy-chain two or more SCXI-1000 chassis. You can also use off-the-shelf true sine wave DC-to-AC power inverters to power AC chassis with a DC power supply.



SCXI-1001

The SCXI-1001 is a 12-slot chassis with a number of standard AC power options. As in the SCXI-1000 Series, you can daisy-chain up to eight chassis to acquire or control up to 3,072 channels with a single DAQ device. This chassis is ideal for high-channel-count systems. You can use off-the-shelf true sine wave DC-to-AC power inverters to power AC chassis with a DC power supply.

SCXI-1000DC

The SCXI-1000DC is a 4-slot chassis that accepts DC power. You can power it with any 9.5 to 16 VDC power supply, or use the optional SCXI-1382 12 VDC battery pack (shown in the picture). You should also consider the optional SCXI-1383 power supply/float charger to operate the chassis from an AC power outlet when necessary. This chassis is ideal for portable applications or other times when AC power is not always available.

Ordering Information

NI SCXI-1000 ..... 776570-0P[1]
NI SCXI-1000DC 776570-00
NI SCXI-1001 ..... 776571-0P[1]

[1]To choose your power option, replace the "P" with the appropriate number for your country's power:

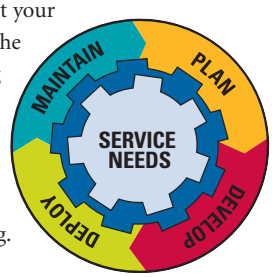
1 – U.S. 120 VAC
2 – Swiss 220 VAC
3 – Australian 240 VAC
4 – Universal Euro 240 VAC
5 – North American 240 VAC
6 – United Kingdom 240 VAC
7 – Japanese 100 VAC

BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call (800) 813 3693 (U.S. only) or go to **ni.com/signalconditioning**.

NI Services and Support

NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit ni.com/services.



Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit ni.com/training.

Professional Services

Our Professional Services Team is comprised of National Instruments applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.

NATIONAL INSTRUMENTS™
Certified Alliance Partner

OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at ni.com/support.

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit ni.com/ssp.

Hardware Services

NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with ni.com/pxiadvisor.

Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit ni.com/calibration.

Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit ni.com/services.

NATIONAL INSTRUMENTS™

ni.com • (800) 813 3693
National Instruments • info@ni.com

5340-321-101

© 2005 National Instruments Corporation. All rights reserved. CVI, LabVIEW, Lookout, Measurement Studio, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, NI-DAQ, and SCXI are trademarks of National Instruments. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies.
A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from NI and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with NI.

SCXI 6-Channel Isolated Analog Output

NI SCXI-1124

- 6 isolated channels, per channel configurable for voltage or current output
- 250 V_{rms} working isolation per channel
- Software programmable ranges
- 12-bit resolution
- Combine channels for output voltages of up to ±60 V per module
- Software calibration using onboard calibration EEPROM
- 0-1, 0-5, 0-10, ±1, ±5, ±10 V voltage output ranges
- 0-20 mA current outputs
- NI-DAQ driver simplifies configuration and measurement

Operating Systems
- Windows 2000/NT/XP

Recommended Software
- LabVIEW
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio
- VI Logger

Driver Software
- NI-DAQ 7

Calibration Certificate Included
See page 21

Module	Frequency Input Range (±1 to ±10 V)	Input Signal Range (0-20 mA)
SCXI-1124	✓	✓

Table 1. Module Compatibility

Overview

The National Instruments SCXI-1124 is a 6-channel isolated source for static DC (low bandwidth) voltage or current signals. The NI SCXI-1124 includes six independently isolated, 12-bit digital-to-analog-converter (DAC) channels. You can configure each channel for voltage or current output. For voltage, choose any of the available three unipolar or three bipolar ranges. For current, each channel outputs 0 to 20 mA. The module is software configurable, and includes an onboard EEPROM for storing calibration constants. The SCXI-1124 is ideal for applications requiring isolated voltage or current outputs to control a process. For more channels, you can use several SCXI-1124 modules in an SCXI system along with other signal conditioning I/O modules. The SCXI-1124 is controlled digitally over the SCXIbus, so a single DAQ device can control several SCXI-1124 modules.

Description

Figure 1 is a block diagram of the SCXI-1124. Its major functions are described in the following paragraphs.

Analog Output

The SCXI module has six independently isolated analog output channels. You can software program each channel for voltage output ranges such as 0 to 1, 0 to 5, 0 to 10, ±1, ±5, or ±10 V. Within a single module, you can successively connect channels together to create output signals up to 60 VDC per module. Each voltage channel includes a low impedance output buffer that can drive up to 5 mA.

Alternatively, you can configure any channel as a programmable 0 to 20 mA sink. Each current output channel includes a 15 V loop supply, eliminating the need for external supplies. With this 15 V loop supply, a current output channel can drive loads of up to 600 You can also use an external loop supply for higher loads.

Each output channel of the SCXI-1124 is optically isolated. You can operate the module with up to 250 V_{rms} of common-mode voltage between any two channels or between any channel and earth ground.

Multiplexed Mode Operation

In multiplexed serial mode, a single DAQ device controls one or more SCXI-1124 modules through the SCXIbus using a serial digital data protocol. This mode of operation uses a maximum of five digital I/O lines of the plug-in DAQ device. With multiplexed-mode operation, you can control several SCXI modules in one or more chassis using a single DAQ device.

Calibration EEPROM

An onboard calibration EEPROM stores calibration constants measured at the factory. A set of calibration constants is stored in the EEPROM for each output range for each channel. Although the factory calibration constants are permanent and cannot be modified, an additional user section of the EEPROM stores user-modifiable constants for calibration under your exact operating conditions. NI-DAQ transparently uses the calibration constants to correct for gain and offset errors.

SCXI 6-Channel Isolated Analog Output

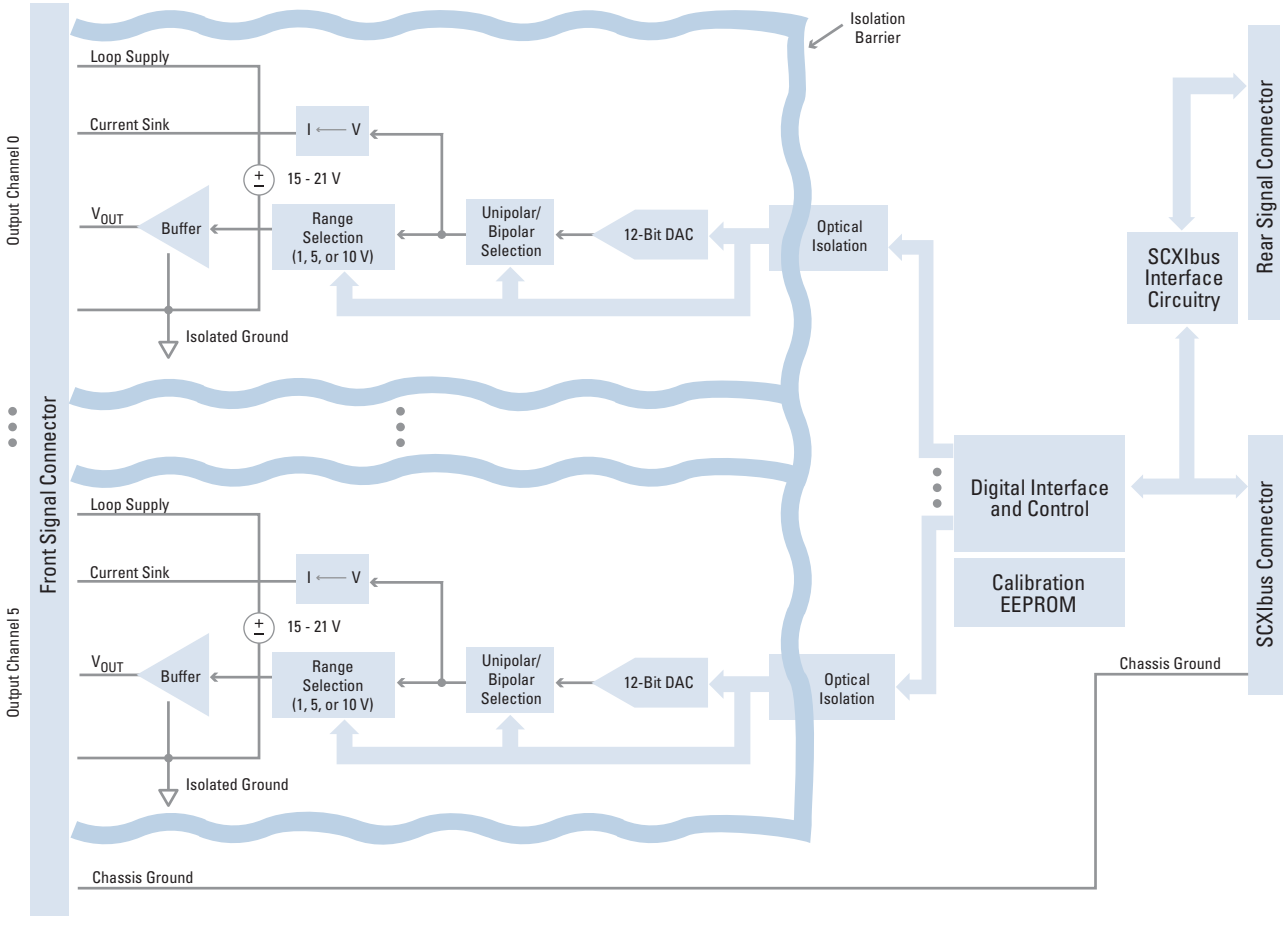


Figure 1. SCXI-1124 Block Diagram

Terminal Block	Part Number	Type	Cable	Page
SCXI-1325	777687-25	Screw terminals front-mounting	–	329
TBX-1325	777207-25	Screw terminals DIN-rail mount	SH48-48-A (183229-01)	331

Figure 2. Terminal Block Options for SCXI-1124

Ordering Information

NI SCXI-1124.....776572-24

For information on extended warranty and value-added services, see page 20.

BUY ONLINE!

Visit ni.com/info and enter scxi1124.

See page 276 to configure your complete SCXI system.

SCXI 32-Channel Isolated Analog Output and Current Excitation Specifications

Specifications

These specifications are typical for 25 °C unless otherwise noted.

SCXI-1124

Analog Output – Output Characteristics

Number of channels ..... 6 voltage or current
Resolution ..... 12 bits, 1 in 4,096
Common-mode isolation ..... 250 V_{rms} between channels and channel to earth ground
Maximum update rate[1]
  Single channel ..... 555 S/s
  All six channels ..... 125 S/s (per channel rate)

Transfer Characteristics

Relative accuracy (INL) ..... ±0.5 LSB maximum
Absolute accuracy
  Voltage outputs ..... ±0.05% FSR maximum
  Current output ..... ±0.1% FSR maximum
DNL ..... ±1 LSB maximum
Monotonicity ..... Guaranteed over temperature

Voltage Output

Ranges ..... 0-1 V, 0-5 V, 0-10 V, ±1 V, ±5 V, ±10 V, software selectable
Output coupling ..... DC
Output impedance ..... 0.1 maximum
Current drive ..... ±5 mA maximum
Load impedance ..... 10,000 pf maximum
Protection ..... Short-circuit to ground
Power-on state ..... -10 mV

Current Output

Range ..... 0 to 20 mA
Type, (external power not required) ..... Current sink with internal loop supply,
Output impedance ..... 1 G minimum
Current loop supply
  Internal ..... 15 to 21 V[2]
  External ..... 3 to 42 V[2]
Protection ..... Short-circuit and open-circuit
Power-on state ..... 0 µA

Dynamic Characteristics

	Output Range					
	0 to 1 V	0 to 5 V	0 to 10 V	±1 V	±5 V	±10 V
Settling time[3]	270 µs	115 µs	100 µs	135 µs	65 µs	85 µs
Slew rate	0.015 V/µs	0.075 V/µs	0.15 V/µs	0.03 V/µs	0.15 V/µs	0.15 V/µs

Slew rate (current outputs) ..... 0.3 mA/µs
Noise
  Voltage outputs ..... 1 mV°, 0 to 20 MHz
  Current outputs ..... 10 μA_{rms}, 0 to 20 MHz

Stability

Offset temperature coefficient
  Unipolar range ..... ±1 ppm/°C
  Bipolar range ..... ±6 ppm/°C
Gain temperature coefficient ..... ±20 ppm/°C

[1]Update rate depends largely on the computer and software. These tests were made using a PCI-6032E installed in a 500 MHz PIII computer running NI LabVIEW and Windows NT; Not for Waveform Generation.
[2]Refer to the SCXI-1124 User Manual for more information.
[3]Setting time is to ±0.012% (±0.5 LSB) accuracy for a full scale step.

SCXI-1581

Excitation

Number of channels ..... 32 single-ended outputs
Current output ..... 100 µA
Accuracy ..... ±0.05%
Temperature drift ..... ±5 ppm/°C
Maximum resistive load ..... 100 k
Overvoltage protection ..... ±40 V
Power-on state ..... 100 µA (nonprogrammble)

Certification and Compliance

SCXI-1124 ..... 250 V, Cat II working voltage
European Compliance CE
EMC ..... EN 61326 Group I Class A, 10 m,
Table Immunity
  Safety ..... EN 61010-1
North American Compliance
EMC ..... FCC Part 15 Class A using CISPR
ICSES003 via harmonization to FCC Part 15
Safety ..... UL Listed to UL 3111-1
CAN/CSA C22.2 No. 1010.1
Australian and New Zealand Compliance
EMC ..... AS/NZS 2064.1/2 (CISPR-11)

For a definition of specific terms, please visit *ni.com/glossary*

SCXI Thermocouple Input Modules

NI SCXI-1102, NI SCXI-1112

- Hardware scanning of cold-junction sensors
- 2 Hz lowpass filtering per channel
- Overvoltage protection to ±42 V
- 333 kS/s maximum sampling rate
- NI measurement services software that simplifies configuration and measurements

SCXI-1102

- Programmatic input range of ±100 mV or ±10 V per channel
- Thermocouple, millivolt, volt, and current input

SCXI-1112

- Instrumentation amplifier per channel
- Random scanning
- Onboard calibration reference
- Open-thermocouple detection LEDs
- Cold-junction compensation per channel

Operating Systems

- Windows 2000/NT/XP

Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio

Measurement Services Software

- NI-DAQmx driver software
- VI Logger Lite data-logging software

Module	Channels	Thermocouple	RTD	±100 mV	±10 V	0 to 20 mA
SCXI-1102	32	✓	✓[1]	✓	✓	✓
SCXI-1112	8	✓	–	–	–	–

[1] With SCXI-1581

Table 1. Signal Compatibility

Overview

The National Instruments SCXI-1102 and SCXI-1112 are designed for high-accuracy thermocouple measurements. The SCXI-1102 also can acquire millivolt, volt, 0 to 20 mA, and 4 to 20 mA current input signals, as well as signals from RTDs when the SCXI-1581 provides excitation. Each input channel includes an instrumentation amplifier and a 2 Hz lowpass filter. The SCXI-1112 incorporates open-thermocouple detection circuitry on each input channel. LEDs on the front of the module indicate the presence of an open thermocouple.

Ordering Information

NI SCXI-1102 776572-02
NI SCXI-1112 776572-12

Accessories
SH96-96 shielded cable 1 m 183228-01
R96-96 ribbon cable 1 m 183425-01

For information on extended warranty and value-added services, go to **ni.com/signalconditioning**.

BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call (866) 265 9891 (U.S. only) or go to **ni.com/scxi**.

Terminal Block	Part Number	Type	CJ Sensor	Compatible Modules	Cabling	Special Functions
SCXI-1300	777687-00	Screw terminals Front-mounting	✔	SCXI-1102B, SCXI-1102C, SCXI-1104, SCXI-1104C, SCXI-1100	_	IC sensor for CJC
SCXI-1303	777687-03	Screw terminals Front-mounting	✔	SCXI-1102B, SCXI-1102C, SCXI-1100	_	Isothermal construction Pluggable ground referencing
SCXI-1308	777687-08	Screw terminals Front-mounting	–	SCXI-1102B, SCXI-1102C, SCXI-1100	_	249 Ω precision shunt resistor for current measurements
TC-2095	777509-01	Thermocouple, plugs Rack-mounted	✔	SCXI-1100, SCXI-1102B, SCXI-1102C	SH96-96 or R96-96	Isothermal construction Prewired ground referencing
TBX-1303	777207-03	Screw terminals	✔	SCXI-1102B, SCXI-1102C, SCXI-1104, SCXI-1104C, SCXI-1100	SH96-96 or R96-96	DIN-rail mount Isothermal construction Pluggable ground referencing 3 terminals per channel
TBX-96	777264-01	Screw terminals DIN-rail mount	–	SCXI-1100, SCXI-1102B, SCXI-1102C, SCXI-1104,	SH96-96 or R96-96	DIN-rail mount 3 terminals per channel
SCXI-1310	777687-10	Solder pins Front-mounting	–	SCXI-1102B, SCXI-1102C, SCXI-1104, SCXI-1100	–	Low-cost connector and shell assembly

Table 2. Terminal Block Options for SCXI-1102

NATIONAL INSTRUMENTS™

SCXI Thermocouple Input Modules

Specifications

Complete Accuracy Table

			Percent of Reading[1]			System Noise (peak, 3 sigma)[1]				Temperature Drift	
						Single Point		Average			
Module	Nominal Range[1]	Overall Gain[1]	Typical	Maximum	Offset (µV)	4 Hz (µV)	10 kHz or FBW (µV)	4 Hz (µV)	10 kHz or FBW (µV)	Percent of Reading/°C	Offset (µV/°C)
SCXI-1100	±10 V	1	0.03	0.05	250	600	600	15.0	15.0	0.002	24.0
	±5 V	2	0.1	0.15	175	400	400	15.0	15.0	0.002	14.0
	±2 V	5	0.1	0.15	100	200	200	15.0	15.0	0.002	8.0
	±1 V	10	0.1	0.15	75	100	100	10.0	11.0	0.002	6.0
	±500 mV	20	0.1	0.15	65	50	50	10.0	11.0	0.002	5.0
	±200 mV	50	0.1	0.15	50	30	30	10.0	11.0	0.002	4.5
	±100 mV	100	0.1	0.15	50	10	10	5.0	6.0	0.002	4.5
	±50 mV	200	0.1	0.15	50	10	10	5.0	6.0	0.002	4.5
	±20 mV	500	0.1	0.15	45	10	10	5.0	6.0	0.002	4.0
	±10 mV	1000	0.1	0.15	45	1.5	1.5	0.5	1.5	0.002	4.0
	±5 mV	2000	0.1	0.15	45	1.5	1.5	0.5	1.5	0.002	4.0

[1]Absolute Accuracy (15 to 35 °C). To calculate the absolute accuracy for the SCXI-1100, 1102, 1102B, 1102C, 1104, 1104C, and/or 1112, visit **ni.com/accuracy**.

			Percent of Reading[1]			System Noise (peak, 3 sigma)[1]		Temperature Drift	
Module	Nominal Range[1]	Overall Gain[1]	Typical	Maximum	Offset (µV)	Single Point	Average (µV)	Percent of Reading/°C	Offset (µV/°C)
SCXI-1102	±10 V	1	0.025	0.035	500	600 µV	50	0.0010	20
	±100 mV	100	0.015	0.02	25	20 µV	5	0.0005	1
SCXI-1102B	±10 V	1	0.025	0.035	500	600 µV	50	0.0010	20
	±100 mV	100	0.015	0.02	25	20 µV	5	0.0005	1
SCXI-1102C	±10 V	1	0.025	0.035	500	600 µV	70	0.0010	20
	±100 mV	100	0.015	0.02	25	30 µV	10	0.0005	1
SCXI-1104	±60 VDC	0.1	0.035	0.05	800	900 µV	200	0.0020	50
SCXI-1104C	±42 VAC	0.1	0.035	0.05	800	1 mV	300	0.0020	50
SCXI-1112	±100 mV	100	0.015	0.02	25	20 µV	5	0.0005	1

[1]Absolute Accuracy (15 to 35 °C). To calculate the absolute accuracy for the SCXI-1100, 1102, 1102B, 1102C, 1104, 1104C, and/or 1112, visit **ni.com/accuracy**.

Input Characteristics

Module	Number of Channels
SCXI-1100, SCXI-1102, SCXI-1102B, SCXI-1102C, SCXI-1104, SCXI-1104C	32 differential
SCXI-1112	8 differential

Input signal ranges..... See accuracy table
Input coupling..... DC

Maximum working voltage

Module	Maximum Working Voltage (Signal + Common Mode)
SCXI-1100, SCXI-1102, SCXI-1102B, SCXI-1102C	±10 V
SCXI-1104, SCXI-1104C	30 V_{rms} or ±42 VAC peak or 60 VDC
SCXI-1112	±10 V

Overvoltage protection

Module	Powered On	Powered Off
SCXI-1100	±25 V	±15 V
SCXI-1102, SCXI-1102B, SCXI-1102C	±42 V	±42 V
SCXI-1104, SCXI-1104C	30 V_{rms} or ±42 VAC peak or 60 VDC	
SCXI-1112	±42 V	±42 V

Inputs with Overvoltage Protection	
SCXI-1100, SCXI-1104, SCXI-1104C	CH0..CH31
SCXI-1102, SCXI-1102B, SCXI-1102C	CH0..CH31, CJ Sensor
SCXI-1112	CH0..CH7, CJ Sensor

Offset error..... See accuracy table
Gain error..... See accuracy table

Transfer Characteristics

Nonlinearity

Module	Percentage of Full Scale Range
SCXI-1100	±0.008
SCXI-1102, SCXI-1102B, SCXI-1102C	±0.005
SCXI-1104, SCXI-1104C	±0.01
SCXI-1112	±0.005

Amplifier Characteristics

Input impedance

Module	Normal Powered On	Powered Off/Overload
SCXI-1100	>1 GΩ	1.6 kΩ
SCXI-1102, SCXI-1102B, SCXI-1102C	>1 GΩ	10 kΩ
SCXI-1104, SCXI-1104C	1 MΩ	900 kΩ
SCXI-1112	>1 GΩ	10 kΩ

SCXI Thermocouple Input Modules

Specifications

Input bias current

Module	Current
SCXI-1100	±350 pA
SCXI-1102, SCXI-1102B, SCXI-1102C, SCXI-1104, SCXI-1104C, SCXI-1112	±0.5 nA

Input offset current

Module	Current
SCXI-1100	±350 pA
SCXI-1102, SCXI-1102B, SCXI-1102C, SCXI-1104, SCXI-1104C, SCXI-1112	±1.0 nA

No MMR

CMRR (Common Mode Rejection Ratio) (DC to 60 Hz)

Module	Range	Filter	CMRR (dB)
SCXI-1100	±10 V to ±2 V	4 Hz	98
	±1 V to ±5 mV	4 Hz	78
	±10 V to ±2 V	10 kHz or full bandwidth	110
	±1 V to ±5 mV	10 kHz or full bandwidth	90
SCXI-1102	±10 V to ±100 mV	2 Hz	110
SCXI-1102B	±10 V to ±100 mV	200 Hz	90
SCXI-1102C	±10 V to ±100 mV	10 kHz	90
SCXI-1104	±42 VAC/±60 VDC	2 Hz	70
SCXI-1104C	±42 VAC/±60 VDC	10 kHz	70
SCXI-1112	±100 mV	2 Hz	110

Output range ..... See accuracy table

No output impendance

Dynamic Characteristics

Input signal bandwidth

Module	Bandwidth
SCXI-1100	4 Hz, 10 kHz, full bandwidth
SCXI-1102	2 Hz
SCXI-1102B	200 Hz
SCXI-1102C	10 kHz
SCXI-1104	2 Hz
SCXI-1104C	10 kHz
SCXI-1112	2 Hz

Step response (10 V step)

			Accuracy		
Module	Filter Setting	Range	±0.012%[1]	±0.006%[2]	±0.0015%[2]
SCXI-1100	Full bandwidth	±10 V to ±100 mV	6 µs	10 µs	32 µs
	(No filter)	±50 mV	7.5 µs	10 µs	33 µs
		±20 mV	12 µs	25 µs	40 µs
		±10 mV	20 µs	26 µs	76 µs
		±5 mV	25 µs	30 µs	195 µs
	10 kHz	All ranges	150 µs	160 µs	200 µs
	4 Hz	All ranges	350 ms	400 ms	500 ms

			Accuracy	
Module	Filter Setting	Range	±0.01%	±0.01%
SCXI-1102	2 Hz	±10 V, ±100 mV	1 s	10 s
SCXI-1102B	200 Hz	±10 V, ±100 mV	10 ms	100 ms
SCXI-1102C	10 kHz	±10 V, ±100 mV	200 µs	1 ms
SCXI-1112	2 Hz	±100 mV	1 s	10 s

			Accuracy	
Module	Filter Setting	Range	±0.01%	±0.01%
SCXI-1104	2 Hz	± 42 VAC/± 60 VDC	1 s	10 s
SCXI-1104C	10 kHz	± 42 VAC/± 60 VDC	200 µs	1 ms

Multiplexer performance

	Scan Interval	
Module	Settle to ±0.012%[1]	Settle to ±0.006%[2]
SCXI-1100	(See step response)	(See step response)
SCXI-1102, SCXI-1102B, SCXI-1102C, SCXI-1104, SCXI-1104C, SCXI-1112	3 µs	10 µs

Filter Characteristics

Module	Filter Setting	Range	Noise Related to Input (μV_{rms})
SCXI-1100	Full bandwidth	±10 V	15
	(No filter)	±10 mV	6
	4 Hz	±10 V	15
		±10 mV	0.2
	10 kHz	±10 V	15
		±10 mV	1.5
SCXI-1102	2 Hz	±100 mV	5
		±10 V	50
SCXI-1102B	200 Hz	±100 mV	5
		±10 V	50
SCXI-1102C	10 kHz	±10 V	70
SCXI-1104	2 Hz	±100 mV	10
		±42 VAC, ±60 VDC	200
SCXI-1104C	10 kHz	±42 VAC, ±60 VDC	300
SCXI-1112	2 Hz	±100 mV	5

Type ..... RC

Cutoff Frequency (-3 dB)

SCXI-1100 ..... 4 Hz, 10 kHz, full bandwidth (jumper-selectable)

SCXI-1102, 1104, 1112 ..... 2 Hz

SCXI-1102B ..... 200 Hz

SCXI-1102C, 1104C ..... 10 kHz

Stability

Module	Input Range	Gain Temperature Coefficient (ppm/°C)	Offset Temperature Coefficient (µV/°C()
SCXI-1100	All ranges	20	20
SCXI-1102	±10 V	10	20
SCXI-1102B SCXI-1102C	±100 mV	10	1
SCXI-1104 SCXI-1104C	±42 VAC, ±60 VDC	20	50
SCXI-1112	±100 mV	10	1

Recommended warm-up time ..... 20 minutes

Physical

Dimensions ..... 3.0 by 17.3 by 30.3 cm
1.2 by 6.8 by 8.0 in.

I/O Connector

Rear ..... 50-pin male ribbon cable rear connector

Front

SCXI-1112 ..... 8 uncompensated minithermocouple connectors

Others ..... 96-pin male DIN C front connector

Environment

Operating temperature ..... 0 to 50 °C

Storage temperature ..... -55 to 150 °C

Relative humidity ..... 5 to 90% noncondensing

Certification and Compliance

European Compliance

EMC ..... EN 61326 Group I Class A, 10 m, Table 1 Immunity

Safety ..... EN 61010-1

North American Compliance

EMC ..... FCC Part 15 Class A using CISPR

Australia and New Zealand Compliance

EMC ..... AS/NZS 2064.1/2 (CISPR-11)

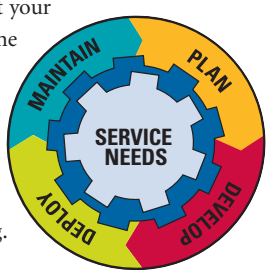
[1]Includes effects of NI 6052E with 1 or 2 m SCXI cable assembly.

[2]Includes effects of NI 6030E with 1 or 2 m SCXI cable assembly.

For a definition of specific terms, please visit ni.com/glossary.

NI Services and Support

NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit ni.com/services.



Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit ni.com/training.

Professional Services

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.

NATIONAL INSTRUMENTS™
Certified Alliance Partner

OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at ni.com/support.

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit ni.com/ssp.

Hardware Services

NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with ni.com/pxiadvisor.

Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit ni.com/calibration.

Repair and Extended Warranty

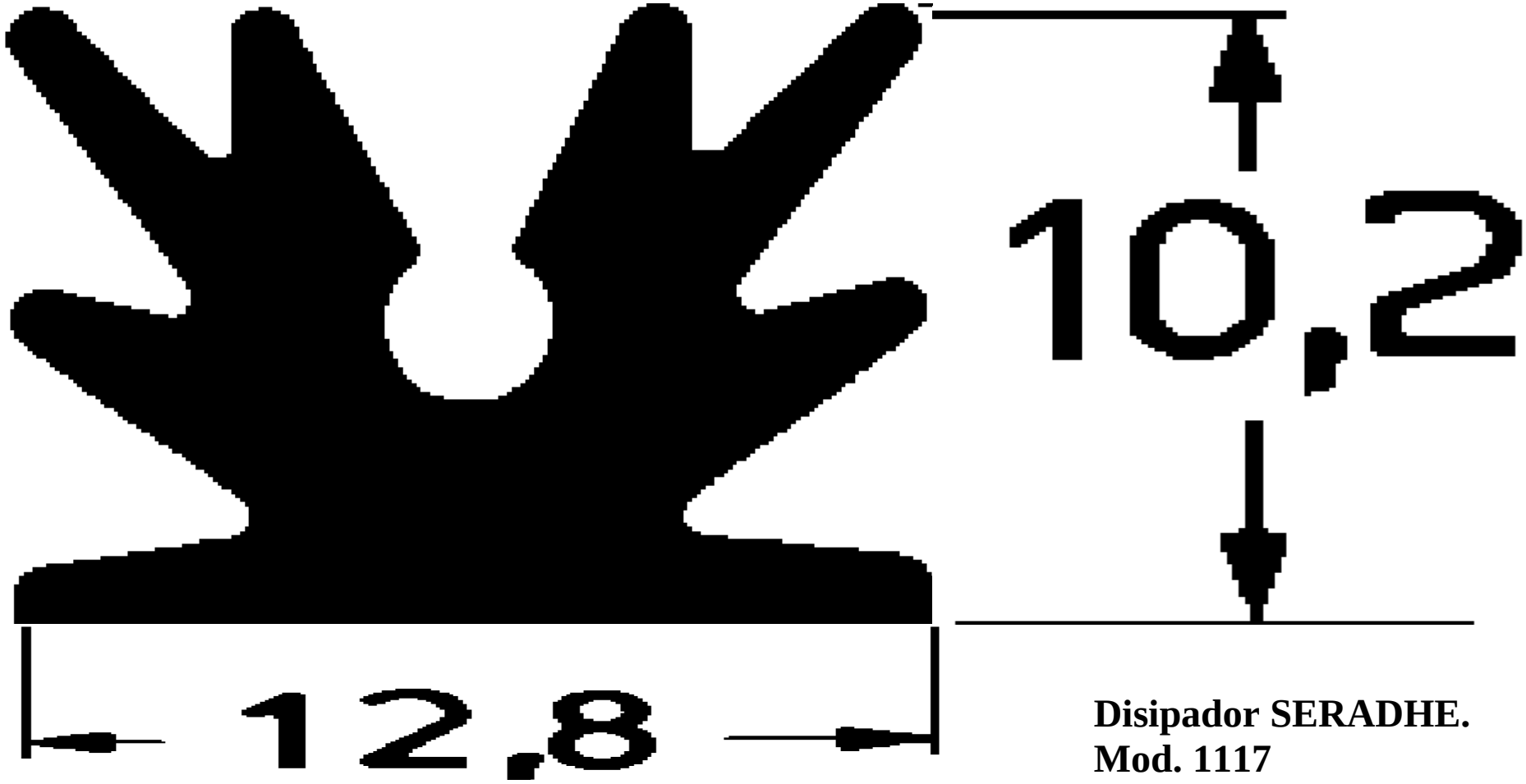
NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit ni.com/services.

NATIONAL INSTRUMENTS™

ni.com • (800) 813 3693
National Instruments • info@ni.com

© 2005 National Instruments Corporation. All rights reserved. CVI, LabVIEW, Measurement Studio, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, NI-DAQ, and SCXI are trademarks of National Instruments. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from NI and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with NI.

2005_5612_321_101_D



Disipador SERADHE.
Mod. 1117

Cotas en milímetros

Seradhe
electromechanical supplier
Isaac Peral, naus 19-20
Pol. Ind. Nord-Est
E-08740 Sant Andreu de la Barca
Barcelona-Spain
T +34 93 338 70 12
F +34 93 338 79 09
seradhe@seradhe.com
www.seradhe.com

TÜV CERT
DIN EN ISO 9001: 2000
CERTIFICADO Nº 01 100 038106

2

PLANOS

Índice

Capítulo 1 Lista de planos 2

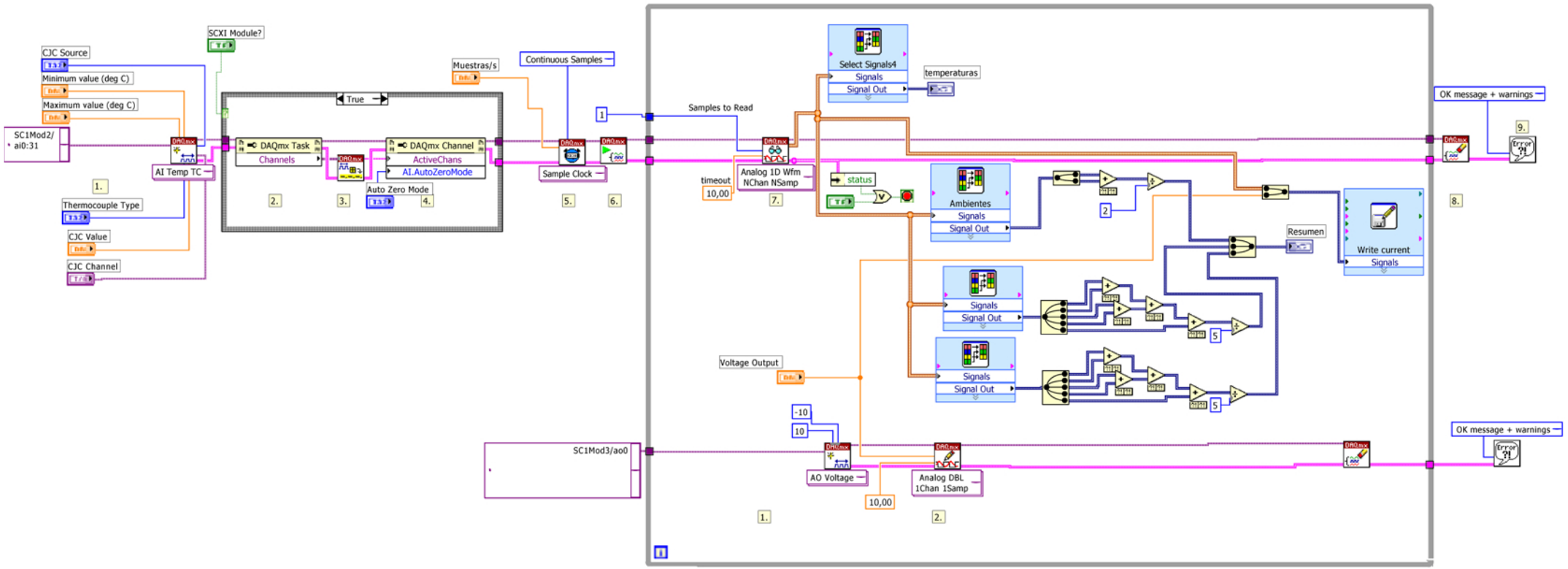
Capítulo 2 Planos 3

Capítulo 1 LISTA DE PLANOS

Plano nº 1: Diagrama de *Labview* en lazo abierto.

Plano nº 2: Diagrama de *Labview* en lazo cerrado.

Capítulo 2 PLANOS

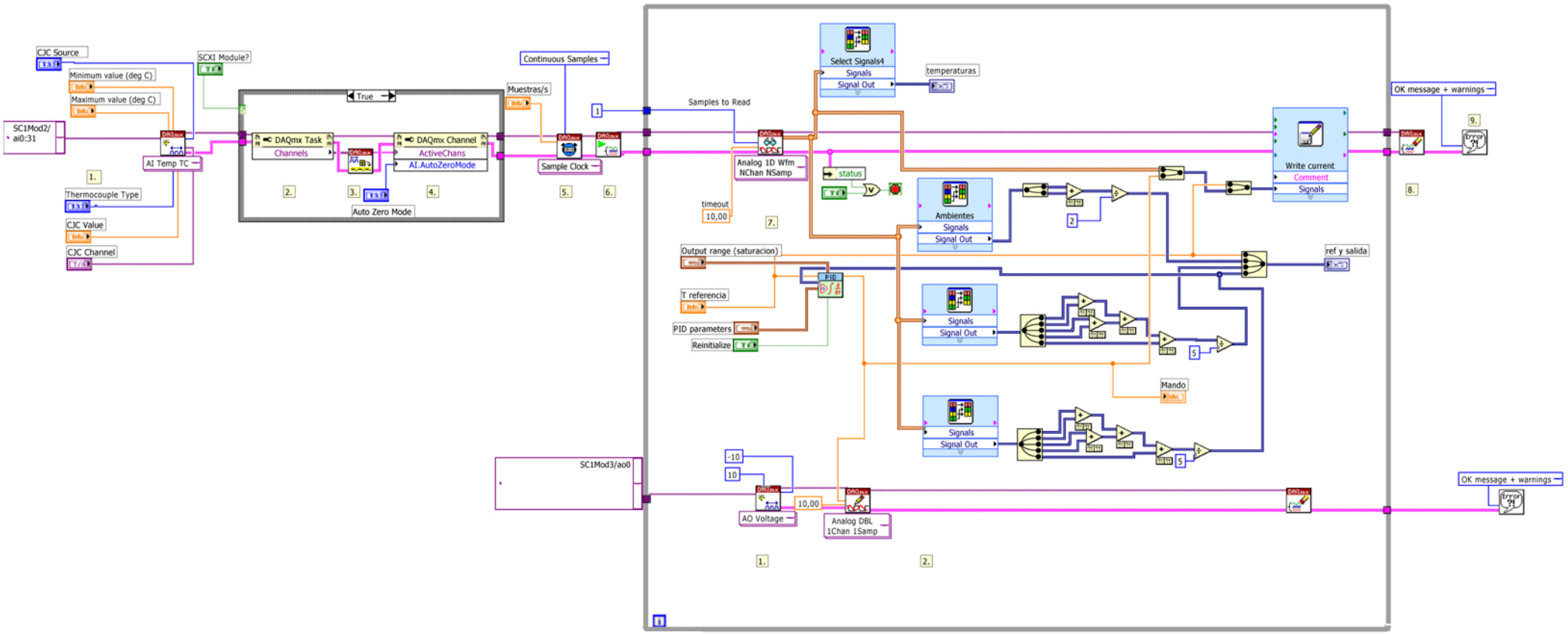


	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15-6-10	Alejandro Nectalí	
Comprobado			
id. s. normas			

UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS ICAI MADRID

Título: DIAGRAMA EN LABVIEW DE LAZO ABIERTO

Plano Nº 1



	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15-6-10	Alejandro Nectalí	
Comprobado			
id. s. normas			

UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS ICAI MADRID

Título: DIAGRAMA EN LABVIEW DE LAZO CERRADO

Plano Nº 2

3

PRESUPUESTO

Índice

Capítulo 1 Mediciones 2

Capítulo 2 Precios unitarios 5

Capítulo 3 Sumas parciales 7

Capítulo 4 Presupuesto general 9

Capítulo 1 MEDICIONES

En este capítulo se indican las diferentes partes que integran el proyecto, agrupadas en distintas partidas, definiendo los presupuestos de cada una de ellas, así como el presupuesto total.

A la hora de detallar los conceptos que se verán incluidos en el presupuesto final correspondiente al presente proyecto, se han seguido las premisas que se exponen a continuación:

I. Los precios de los componentes detallados corresponden al importe pagado en su fecha de compra, y pueden no coincidir con el importe de compra en caso de requerirse una reproducción del proyecto, en cuyo caso el presente presupuesto podrá ser revisado y actualizado.

II. Se incluyen los costes correspondientes al equipo informático y al software utilizado en el desarrollo del proyecto.

III. No se incluyen en el presupuesto los costes de los instrumentos de medida, accesorios y equipos utilizados tanto para el desarrollo como para las pruebas realizadas para comprobar la correcta funcionalidad del equipo.

IV. El presupuesto final incluye la totalidad de los componentes empleados en el proyecto que constituye el concepto global desarrollado, pero la mano de obra incluida se corresponde

únicamente con la empleada por el proyectista encargado de la parte del concepto global desarrollada en el presente proyecto.

Las partidas correspondientes a recursos humanos se encuentran a continuación, en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Horas hombre utilizadas en el proyecto.

Concepto	Horas
Estudio y documentación	30
Ingeniería	300
Consultoría especializada (Termoelectricidad)	10
Montaje	150

En la tabla siguiente (Tabla 1.2) se hace referencia a las unidades de cada unos de los materiales que componen el proyecto.

Tabla 1.2. Recursos de los medios materiales.

	Concepto	Cantidad
PC portátil	Equipamiento habitual de un PC de oficina.	1 ud.
	Licencia **MATLAB R2009b**	1 año
	Licencia Labview 7.1 Datalogging & Supervisory control	1 año
	Transformador 220/40-20 V	1 ud.
	Hardware de acondicionamiento de la señal de National Instruments	1 ud.
Prototipo	Marco CIMA-BOX, de la casa SIMÓN	1 ud.
	Cristales (PVC)	2 ud.
	Módulo Laird Tech. CP0.8-63-06L. 9W, 12x25mm	30 ud.
	Ventilador RLF100-11/14, EBM PAPST	2 ud.
	Conector hembra para termopar K	30 ud.
	Termopar K con conector	30 ud.
	Cable de termopar	1 ud.
	Tubo pequeño de masilla conductora	6 ud.
	Servoamplificador 25A8 ADVANCED MOTION CONTROLS	1 ud.
Componentes electrónicos del hardware	Fusible	1 ud.
	L78S24CV	2 ud.
	Puente de diodos	2 ud.
	Condensador electrolítico	3 ud.
	Condensador cerámico	2 ud.
	Resistencia	1 ud.
	Bobina Coilcraft	2 ud.

Capítulo 2 PRECIOS UNITARIOS

Los precios unitarios de las partidas de los recursos humanos se presentan en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1. Precio unitario de los recursos humanos.

Concepto	€/Hora
Estudio y documentación	18
Ingeniería	50
Consultoría especializada (Termoelectricidad)	30
Montaje	20

Los precios unitarios de los materiales se presentan en la Tabla 2.2:

Tabla 2.2. Precios unitarios de los recursos materiales.

	Concepto	Precio (€/ud)
PC portátil	Equipamiento habitual de un PC de oficina.	1000
	Licencia **MATLAB R2009b**	900
	Licencia Labview 7.1 Datalogging & Supervisory control	720
	Transformador 220/40-20 V	35
	Hardware de acondicionamiento de la señal de National Instruments	1250
Prototipo	Marco CIMA-BOX, de la casa SIMÓN	50
	Cristales (PVC)	50
	Módulo Laird Tech. CP0.8-63-06L. 9W, 12x25mm	38.49
	Ventilador RLF100-11/14, EBM PAPST	49.91
	Conector hembra para termopar K	2.15
	Termopar K con conector	7,57
	Cable de termopar	21.69
	Tubo pequeño de masilla conductora	11.12
Componentes electrónicos del hardware	Servoamplificador 25A8 ADVANCED MOTION CONTROLS	300
	Fusible	0.31
	L78S24CV	0.72
	Puente de diodos	2.8
	Condensador electrolítico	4.52
	Condensador cerámico	1
	Resistencia	0.2
	Bobina Coilcraft	3.71

Capítulo 3 SUMAS PARCIALES

Las sumas parciales de los recursos humanos se presentan en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1. Sumas parciales de los recursos humanos

Concepto	Horas	€/Hora	Total (€)
Estudio y documentación	30	18	540
Ingeniería	300	50	15000
Consultoría especializada (Termoelectricidad)	10	30	300
Montaje	150	20	3000
Total RRHH			**18840**

Las sumas parciales de los equipos y componentes se presentan en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2. Sumas parciales de los materiales

	Concepto	Cantidad	Precio (€/ud)	Total (€)
PC portátil	Equipamiento habitual de un PC de oficina.	1 ud.	1000	1000
Licencia **MATLAB R2009b**		1 año	900	900
Licencia Labview 7.1 Datalogging & Supervisory control		1 año	720	720
Transformador 220/40-20 V		1 ud.	35	35
Hardware de acondicionamiento de la señal de National Instruments		1 ud.	1250	1250
Prototipo	Marco CIMA-BOX, de la casa SIMÓN	1 ud.	50	50
	Cristales (PVC)	2 ud.	50	100
	Módulo Laird Tech. CP0.8-63-06L. 9W, 12x25mm	30 ud.	38.49	1154.7
	Ventilador RLF100-11/14, EBM PAPST	2 ud.	49.91	99.82
	Conector hembra para termopar K	30 ud.	2.15	64.5
	Termopar K con conector	30 ud.	7,57	227.1
	Cable de termopar	1 ud.	21.69	21.69
	Tubo pequeño de masilla conductora	6 ud.	11.12	66.72
Componentes electrónicos del hardware	Servoamplificador 25A8 ADVANCED MOTION CONTROLS	1 ud.	300	300
	Fusible	1 ud.	0.31	0.31
	L78S24CV	2 ud.	0.72	1.44
	Puente de diodos	2 ud.	2.8	5.6
	Condensador electrolítico	3 ud.	4.52	13.56
	Condensador cerámico	2 ud.	1	2
	Resistencia	1 ud.	0.2	0.2
	Bobina Coilcraft	2 ud.	3.71	7.42
TOTAL Equipos y componentes				**6020.06**

Capítulo 4 PRESUPUESTO GENERAL

El presupuesto general del proyecto es el que se observa en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Presupuesto general.

Partidas	Importe (€)
Recursos humanos	18840
Equipos y componentes	6020.06
Total presupuesto	24860.06
Total presupuesto + IVA 16%	**28837.67**